



# ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO TÉCNICO DE TELECOMUNICACIÓN,  
ESPECIALIDAD EN SONIDO E IMAGEN

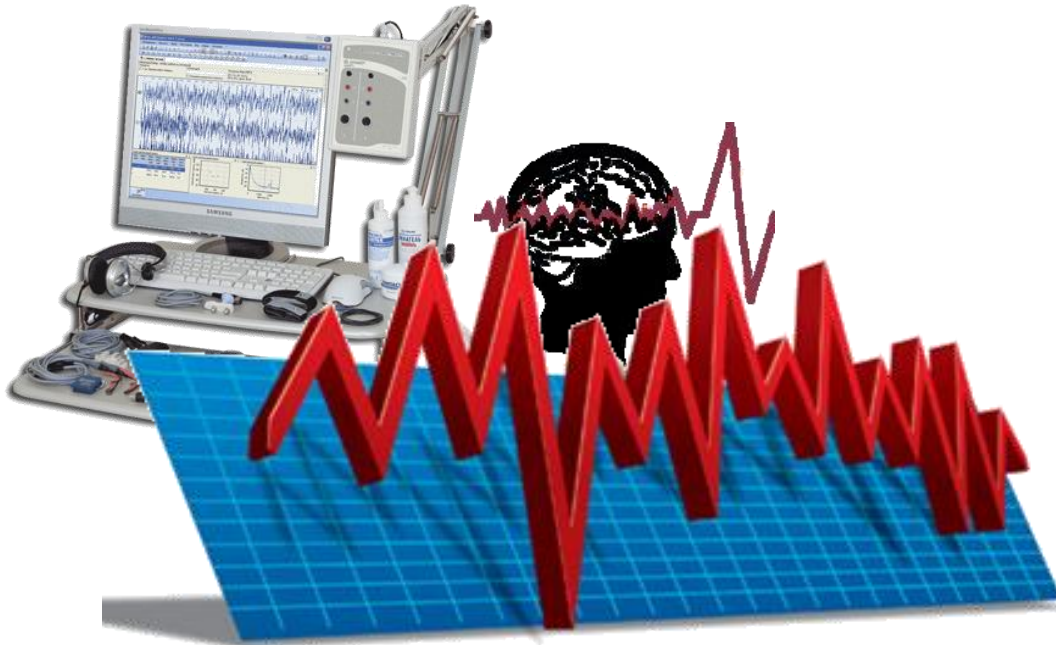
Título del proyecto:

“IMPLEMENTACIÓN DE UNA  
HERRAMIENTA DE SOFTWARE PARA  
EL ESTUDIO CUANTITATIVO DE  
SEÑALES ELECTROMIOGRÁFICAS”

Mónica Moreno Algarate

Javier Navallas Irujo

Pamplona, Fecha de defensa



Titulación:

INGENIERO TÉCNICO DE TELECOMUNICACIÓN,  
ESPECIALIDAD EN SONIDO E IMAGEN

Título del proyecto:

“IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA  
DE SOFTWARE PARA EL ESTUDIO  
CUANTITATIVO DE SEÑALES  
ELECTROMIOGRÁFICAS”

Mónica Moreno Algarate

Javier Navallas Irujo

Pamplona, Fecha de defensa



## ÍNDICES

1. INTRODUCCIÓN	4
1.1. Objetivo del proyecto	4
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	4
2.1. Electromiografía	4
2.2. Electromiografía cuantitativa	6
2.2.1. Análisis manual de los pum	7
2.2.1.1. Análisis por descomposición de pum (adeng)	7
2.2.1.2. Análisis de múltiples pum	8
2.2.2. Análisis automático del patrón emg voluntario	8
2.2.3. Electromiografía de fibra simple (emgfs)	9
2.2.4. Macro emg	10
2.2.5. Emg de superficie y estudio del espectro de frecuencias	10
2.3. Procedimiento	11
2.3.1. Equipo instrumental. Características técnicas.	11
2.3.2. Cualidades del valor diagnostico del emg.	14
2.3.3. Resultados normales	15
2.3.4. Resultados anormales	15
2.4. Historia	17
2.5. Fundamentos fisiológicos.	18
3. ESTUDIOS REALIZADOS	21
3.1. Calculo del Jiggle	21
3.1.1. Planteamiento del problema	21
3.1.2. Programas realizados	24
3.1.3. Resultados obtenidos	27
3.2. Calculo del número de turns	41
3.2.1. Planteamiento del problema	41
3.2.2. Programas realizados	44
3.2.3. Resultados obtenidos	50
3.3. Detección de la espiga principal del PAUM	64
3.3.1. Planteamiento del problema	64
3.3.2. Programas realizados	67
3.3.3. Resultados obtenidos	74
3.4. Calculo de la variabilidad del Rise Time (RT)	88
3.4.1. Planteamiento del problema	88



3.4.2.	Programas realizados	89
3.4.3.	Resultados obtenidos	93
4.	CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS	132
5.	ANEXO	142
5.1.	Manual de la aplicación	142
5.2.	Código completo de la aplicación	151
6.	BIBLIOGRAFÍA	157



## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. OBJETIVO DEL PROYECTO

El presente proyecto tiene como objeto la implementación de una herramienta de software en Matlab para el análisis cuantitativo de las señales electromiográficas con el fin de estudiar la variabilidad de estas y automatizar el proceso de obtención de algunos parámetro y/o características importantes en su estudio.

Las características principales del proyecto son:

- Automatización de procesos de cálculo y obtención de parámetros necesarios para la evaluación clínica de las señales EMG .
- Conocimiento de las características de las distintas señales Electromiográficas. De este dependerá el uso de diferentes algoritmos para su representación gráfica tanto de manera continua como por medio de sus descargas.
- Conocimiento de la herramienta de creación de interfaces de Matlab, con el fin de optimizar el programa implementado, y conseguir una ejecución más eficiente.
- Estudio de las estructuras de datos más adecuadas
- Estudio de los métodos de descomposición/extracción y su combinación

## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 2.1. ELECTROMIOGRAFÍA

La Electromiografía (EMG) es una técnica de diagnostico medico consistente en un estudio neurofisiológico de la actividad muscular también llamada actividad eléctrica de los músculos del esqueleto, para la evaluación y registro de la actividad de los músculos esqueléticos. Clásicamente, el mismo término EMG, engloba también a la electroneurografía (el estudio de los nervios que transmiten la orden motora al aparato muscular) si bien en la actualidad se usa cada vez más en este sentido la palabra electroneuromiografía (ENMG).

La técnica consiste en la aplicación de pequeños electrodos de bajo voltaje en forma de agujas en el territorio muscular que se desea estudiar, midiendo la respuesta y la conectividad entre los diferentes



**ILUSTRACIÓN 1:** Detalle de cómo insertar la aguja y breve descripción grafica del proceso de detección de la señal EMG.

electrodos.

Proporciona información muy útil sobre su estado fisiológico y el de los nervios que los activan. Permite la localización, en el caso, por ejemplo, de parálisis musculares, del lugar de la lesión, que puede estar en el encéfalo, la médula espinal, el axón, la unión neuromuscular o las propias fibras musculares.



ILUSTRACIÓN 2: Imagen fotográfica de un electromiógrafo.

El EMG se desarrolla utilizando un instrumento médico llamado electromiógrafo, para producir un registro llamado electromiograma. Un electromiógrafo detecta la energía potencial generada por el músculo celular, cuando estas células son activadas neuralmente o eléctricamente, las señales pueden ser analizadas para detectar anomalías y el nivel de activación, o analizar la biomecánica del movimiento de un humano o un animal.

Existen distintos tipos de estudio del EMG, en el caso de este proyecto nos centramos en el estudio cuantitativo para la detección de posibles anomalías y patrones comunes en ellas para facilitar un diagnóstico.

### 2.1.1. DESCOMPOSICIÓN DE LA SEÑAL DE EMG

Las señales del EMG se componen principalmente en los *potenciales de acción de las unidades motoras* superpuestas constituyentes (MUAPs). Los MUAPs de diferentes *Unidades Motoras* (UM) pueden tener distintas formas, mientras que las MUAPs registradas por el mismo electrodo de la UM, son típicamente similares.

#### Potencial de Acción

1952, Hodgkin y Huxley

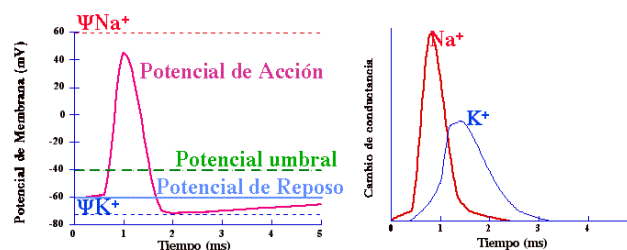


ILUSTRACIÓN 3: Apariencia y partes principales de un Potencial de acción de las unidades motoras (MUAP) por Hodgkin y Huxley en 1953.

Una UM se define como un motor neurona y todas las fibras musculares que inerva. Cuando una UM se activa, el impulso MUAP se desplaza de la neurona motora hacia el

músculo. El área donde el nervio hace contacto con el músculo se llama unión neuromuscular. Después de que el MUAP se transmite a través de la unión neuromuscular, se obtiene un potencial en todas las fibras musculares inervadas por la UM particular. La suma de toda esta actividad eléctrica se conoce MUAP. La actividad electrofisiológica de las múltiples UM's es la señal que normalmente se evalúa durante un EMG. La composición de la UM, el número de fibras musculares por UM, el tipo metabólico de las fibras musculares y muchos otros factores afectan la forma de los MUAP en el miograma.

La forma y el tamaño del MUAP dependen notablemente del lugar donde se localice el electrodo con respecto a las fibras.

### 2.1.2. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

La fuente eléctrica es el potencial de la membrana muscular de más o menos -90 mV, midiendo los rangos potenciales de EMG de menores a mayores rangos entre 50  $\mu$ V hasta 20 o 30 mV, dependiendo del músculo en observación. El rango típico de repetición de una unidad motora muscular es de alrededor 7–20 Hz dependiendo del tamaño del músculo. El daño a las unidades esperadas puede ser entre rangos de 450 y 780 mV.

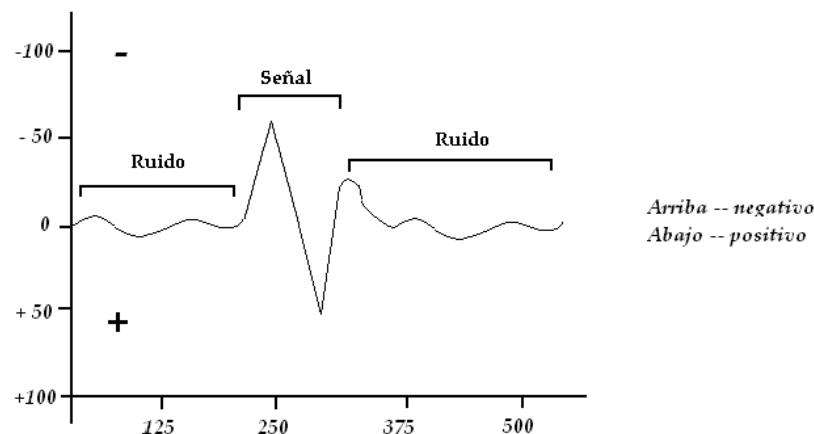


ILUSTRACIÓN 4: Gráfica de las características eléctricas generales de los MUAP.

## 2.2. ELECTROMIOGRAFÍA CUANTITATIVA

En los años cuarenta Buchthal y Cols iniciaron el estudio cuantitativo de los MUP (*Potenciales de la Unidad Motora*) midiendo manualmente los MUP sobre un registro gráfico realizado en papel durante una contracción con esfuerzo ligero-moderado.

Existen diferentes técnicas en el estudio cuantitativo de las señales EMG. Los más conocidos y utilizados son mencionados a continuación.

### 2.2.1. ANÁLISIS MANUAL DE LOS PUM

Este método popularizado por Buchthal y Cols en la década de los 50 incluye el análisis con electrodo concéntrico de al menos 20 PUM en los que se miden la amplitud, duración y número de fases. Los valores obtenidos se comparan con los valores de referencia coleccionados por esta escuela a lo largo de varios años. En ellos se especifican las características de los filtros (2-2000 Hz), ganancia de los amplificadores (50-200  $\mu$ V), velocidad del registro (1 msec/mm) y condiciones del registro. Los criterios de comienzo y final de los potenciales no están cuantitativamente definidos.

Es uno de los métodos más útiles en la distinción entre procesos neuropáticos y miopáticos y en su monitorización. Requiere tiempo y experiencia por lo que no es sistemáticamente utilizado en todos los laboratorios.

En la actualidad, la aplicación de los microprocesadores, el trigger y la línea de retraso ha facilitado la adquisición, análisis y procesamiento de los PUM ahorrando tiempo y mejorando la reproducibilidad de los resultados.

Otros métodos de análisis de PUM, algunos de ellos variantes del anterior, se han desarrollado en los últimos tiempos. Los más frecuentemente utilizados son:

#### 2.2.1.1. ANÁLISIS POR DESCOMPOSICIÓN DE PUM (ADEMG)

La aplicación a la EMG de los ordenadores llevó al desarrollo de esta técnica por Guiheneuc y Mc Gill y Dorfman. En ella se pretende extraer muchos PUM de un solo registro EMG intentando descomponer cada trazado EMG en sus PUM constituyentes. Las señales se procesan para identificar la aparición de PUM discretas. Estos PUM se utilizan como "plantillas" para comparar unos PUM con otros mediante varios algoritmos y obtener así la morfología de los PUM y su frecuencia de batido incluso con fuerzas de contracción elevadas. Tiene el inconveniente de que PUM generados por diferentes UMs van a ser considerados como el mismo y por tanto mal clasificados. Para obviar este inconveniente, De Luca y Cols han desarrollado una técnica denominada "*Descomposición de precisión*". En ella se hace un registro en varios canales de la actividad EMG obtenida de 4 superficies de registro. Los 4 puntos de registro generan 3 registros bipolares de modo que cada UM es definida por 3 PUM diferentes. Es un método excelente que permite la individualización de PUMs incluso durante el máximo esfuerzo voluntario. Requiere muchos canales de registro y quizá por esto su uso no se ha generalizado.

#### 2.2.1.2. ANÁLISIS DE MÚLTIPLES PUM

Es una técnica muy reciente desarrollada casi simultáneamente por Stalberg y Cols y Nandedkar. Mediante la técnica de la plantilla, el programa informático identifica PUM discretos, en ocasiones 4 ó 5 simultáneamente. El barrido es libre aunque suele emplearse el trigger. Se utilizan filtros entre 5 Hz y 10 kHz y se registra la actividad EMG a un 5% y a un 30% aproximadamente del máximo esfuerzo, en una zona donde los PUM "suenen" cercanos. Para cada nivel de contracción el período de análisis es de 5 a 10 segundos. Se recomienda coleccionar unos 30 PUM pues algunos serán probablemente rechazados en el proceso de edición. Para ello suelen ser suficientes 2-3 inserciones en la piel registrando en diferentes niveles del músculo en cada una de ellas.

El procesamiento de la señal se hace en varios pasos sucesivos: identificación, clasificación, visualización, edición intermedia y edición definitiva. Este método tiene la ventaja de que es rápido, reproducible e independiente de la ganancia del amplificador, si bien la promediación puede alterar la morfología de los potenciales inestables y hacer un cierto sesgo de selección hacia los PUM con frecuencias de activación más altas.

#### 2.2.2. ANÁLISIS AUTOMÁTICO DEL PATRÓN EMG VOLUNTARIO

Existen varias modalidades de análisis automático del EMG. Uno de los más utilizados es el llamado análisis de "*nubes*" habitualmente conocido como Turns/Amplitud. En este método, variante del clásico método de Willison, se correlaciona automáticamente el número de "*giros*" (Turns) del EMG obtenido durante un esfuerzo ligero a intenso con la amplitud media de los sucesivos "*giros*". Un giro se define como todo punto de cambio de dirección de la señal igual o mayor de 100 mV respecto al giro anterior y al siguiente. Se registra y procesa el EMG obtenido en diferentes zonas del músculo hasta adquirir 20 puntos.

Se considera anormal una variación igual o mayor del 10%: 2 o más puntos (sobre 20) por encima de la "*nube*" normal denota un patrón neuropático, y 2 o más por debajo configuran un patrón miopático. Se valora también el cociente Giros/Amplitud.

Su sensibilidad es elevada, es muy rápido y de fácil de aplicación incluso en niños. El mayor inconveniente es que no permite estudiar parámetros como la estabilidad de los PUM y la presencia de potenciales satélites.

### 2.2.3. ELECTROMIOGRAFÍA DE FIBRA SIMPLE (EMGFS)

Se trata de una técnica diseñada y desarrollada por Stalberg y Cols desde comienzos de los años 60. Se utiliza una aguja especial con un área de registro muy pequeña (25 micras de diámetro) que, empleando filtros (bajas: 500 Hz, altas: 10 kHz) que atenúan las bajas frecuencias, permite registrar y estudiar la actividad aislada de una sola fibra muscular. Las dos indicaciones fundamentales son la detección de cambios en la estructura de la UM y el estudio de la transmisión neuromuscular.

Aunque se valoran varios parámetros, los más utilizados en la EMG clínica son la *densidad de fibras* (DF) y el *Jitter* (tremolación, inestabilidad).

La DF es un parámetro que informa sobre la disposición (arquitectura) de las fibras en la UM. Solo se puede hacer mediante activación voluntaria ligera y requiere por tanto la colaboración del paciente. Los valores normales, que aumentan con la edad en particular después de los 60 años, oscilan de 1,4 a 1,7. Un aumento de la DF indica de forma muy sensible la existencia de reinervación colateral mucho antes de que se pueda ver agrupamiento en la biopsia de músculo.

El *Jitter* consiste en el cálculo de las variaciones de los tiempos de transmisión neuromuscular en las descargas sucesivas. La elevación por encima de los valores normales indica alteración de la transmisión neuromuscular. Por su sensibilidad es un parámetro de extraordinaria utilidad en el diagnóstico de trastornos de la placa motora, en particular la Miastenia Gravis, incluso en estadios subclínicos. Por ello, a pesar de la dificultad técnica que la obtención y análisis de los potenciales entraña, su uso se ha generalizado.

El método convencional de obtención de señales es la activación voluntaria con esfuerzo ligero que, mediante el trigger y la línea de retraso, permite aislar y analizar los potenciales. Para poder calcular el Jitter es necesario mantener visualizados al menos dos potenciales de fibra simple. Hasta hace unos años se empleaba preferentemente la técnica manual para el cálculo del Jitter mediante la superposición de potenciales. En la actualidad, la mayoría de los electromiógrafos incorporan un programa específico que permite la medición automática del Jitter y otros parámetros de fibra simple.

Los valores normales máximos son 45 msec para el Frontal y 55 para el Extensor Común de los dedos.

Otro método de obtención del Jitter es mediante la *microestimulación axonal*. Se emplea como método alternativo en los pacientes poco colaboradores o en coma, así como en experimentación animal. La microestimulación se hace mediante electrodo

monopolar de aguja insertando el cátodo en el punto motor, el ánodo lateralmente, y situando la aguja de FS a unos 2-3 cm del cátodo.

#### 2.2.4. MACRO EMG

Lo característico de esta técnica es el electrodo "macro" que consiste en un electrodo con una cánula desnuda en una longitud de 15 mm que le permite captar la actividad de virtualmente todas las fibras de una unidad motora. El barrido es disparado mediante la técnica del "trigger" por un electrodo de fibra simple instalado en el centro de la superficie de registro del electrodo macro. La técnica precisa de 2 canales. Uno, que capta la actividad EMG mediante una aguja de Fibra Simple y dispara el barrido del osciloscopio; otro, que promedia la señal capturada por el electrodo macro. Los filtros del electrodo fibra simple se sitúan a 500 Hz y 10 kHz y los de la macro a 8 Hz y 8 kHz. El barrido total de la pantalla suele colocarse a 50-80 ms; la señal se retrasa unos 40 ms para que se pueda ver bien su comienzo y final y para facilitar al algoritmo del programa la medición de la amplitud y del área.

Aunque la amplitud de los "macroPUMs" varía fisiológicamente con la edad y con el músculo examinado, en las neuropatías la amplitud aumenta significativamente mientras que en las miopatías cae de forma importante al menos en un porcentaje de potenciales. La macroPUM es un parámetro que traduce el número total de fibras musculares de la unidad motora y por tanto es de gran utilidad en el diagnóstico y monitorización del tamaño de las unidades motoras en los procesos que cursan con denervación-reinervación (ELA, síndrome postpolio etc.).

#### 2.2.5. EMG DE SUPERFICIE Y ESTUDIO DEL ESPECTRO DE FRECUENCIAS

La primera es una técnica preferentemente utilizada en los laboratorios de kinesiología para valorar los patrones de marcha, para lo cual se procede a menudo al rectificado de la señal. En ocasiones se emplean electrodos profundos de hilo metálico que son más estables.

El estudio del espectro de frecuencias se emplea en el estudio de la fatiga muscular localizada y generó un buen número de trabajos y publicaciones a finales de los 80. Sin embargo, no llegó a perfeccionarse técnicamente al nivel necesario para un uso rutinario aunque todavía se emplea en algunos laboratorios en el estudio de fisiología de la musculatura respiratoria y de la fatiga diafragmática en la EPOC y otras alteraciones de la respiración.



### 2.3. PROCEDIMIENTO

Hay dos métodos para utilizar el EMG, uno es el superficial, y el otro método es el intramuscular.

Para llevar a cabo un EMG intramuscular, se usa una aguja electrodo, se inserta a través de la Piel hasta que entre al tejido muscular. Un profesional entrenado como un neurólogo, fisiatra, o terapeuta físico va observando la actividad eléctrica mientras inserta el electrodo. Mientras se va insertando el electrodo provee una información valiosa en cuanto a la actividad muscular como al nervio que inerva ese músculo. Los músculos cuando están en reposo muestran señales normales eléctricas, cuando el electrodo es insertado, por ende la actividad eléctrica se estudia cuando el músculo está en reposo. La actividad anormal espontánea indica un daño en el nervio o en el músculo. Después se le pregunta al paciente que contraiga el músculo suavemente para poder realizar un análisis con más profundidad. El tamaño, la frecuencia y la forma resultante del PUM son analizados. Posteriormente el electrodo es retirado unos pocos milímetros e insertado nuevamente para analizar la actividad, la cual debe tener unidades por lo menos entre 10–20. Cada trazo del electrodo da una imagen muy local de la actividad del músculo completo. Debido a que el músculo esquelético difiere en su estructura interna, el electrodo debe ser puesto en varias localizaciones para obtener resultados confiables de estudio. El método Intramuscular EMG puede ser considerado demasiado invasivo o innecesario en algunos casos.

En su lugar, el método superficial emplea una superficie en la cual el electrodo se puede utilizar para controlar la imagen general de la activación muscular, a diferencia de la actividad de sólo unas pocas fibras como se observa utilizando un EMG intramuscular. Esta técnica se utiliza en una serie de ajustes, por ejemplo, en la fisioterapia, la activación muscular se controlará mediante EMG superficial y los pacientes tienen un estímulo auditivo o visual para ayudarles a saber cuándo se está activando el músculo (retroalimentación).

Algunos pacientes pueden encontrar el procedimiento doloroso, otros experimentan un pequeño nivel de discomfort cuando la aguja es insertada. Los músculos a los cuales se les realiza el procedimiento pueden quedar doloridos por uno o dos días después del procedimiento.

#### 2.3.1. EQUIPO INSTRUMENTAL. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.

Un equipo de registro EMG consta de los siguientes elementos:



## A) Electrodo.

Recogen la actividad eléctrica del músculo, bien por inserción dentro del mismo o bien a través de la piel que lo recubre, previo acoplamiento por medio de pasta conductora. Según esto, una primera clasificación de electrodos puede ser entre electrodos profundos o superficiales.

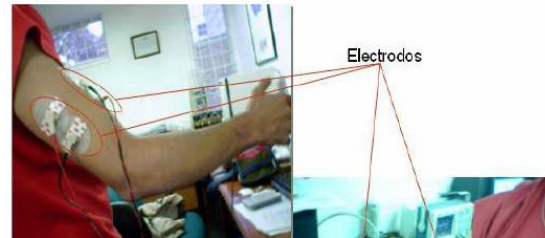


ILUSTRACIÓN 5: Posicionamiento de los electrodos de superficie.



### a.1) *Electrodos Superficiales.*

Son pequeños conos o discos metálicos (fabricados de plata o acero inoxidable) que se adaptan íntimamente a la piel. Para reducir la resistencia de contacto se utiliza pasta conductora.

Con estos electrodos se puede obtener una idea de la electrogénesis global de músculo (estudio de la respuesta global del músculo), pero no detectan potenciales de baja amplitud o de elevada frecuencia por lo cual su uso se encuentra bastante restringido en EMG: se emplean para la determinación de latencias en la pruebas de conducción y en los estudios cinesiográficos.

### a.2) *Electrodos Profundos o de inserción (electrodos de aguja).*

Pueden ser de varias clases:

➤ Monopolar: consiste en una aguja corriente cuya longitud total (excepto en la punta) ha sido aislada (“Ilustración 6”: figura a). La variación de potencial se mide entre el extremo de la punta, ubicada en el músculo y el electrodo de referencia ubicado en la piel o tejido subcutáneo.

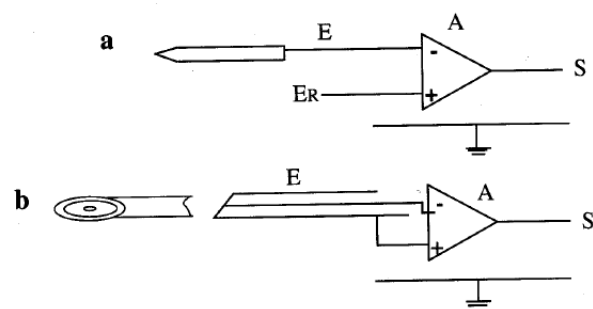


ILUSTRACIÓN 6: Esquema de los electrodos profundos.  
(a) Monopolar (b) Coaxial

➤ Coaxial. Este fue introducido por Adrian en 1929 y es el más adecuado para la práctica clínica. Consiste en una aguja hipodérmica a través de cuyo interior se han

insertado uno o varios conductores metálicos finos aislados entre sí y con respecto a la aguja (“Ilustración 6”: figura b). Sólo el extremo de estos conductores se encuentra desprovisto de aislamiento y es por este punto por el que se captura la señal procedente del tejido muscular. En la actualidad cada vez se usa con mayor frecuencia un electrodo coaxial multicanal en el cual hay 14 conductores. Con éste se puede determinar el territorio de la unidad motora. Este territorio aumenta en los procesos patológicos de carácter neurógeno (en los cuales hay lesión del nervio motor) y disminuye en las lesiones musculares.

#### B) Amplificadores.

Su finalidad es la de amplificar los diminutos potenciales recogidos en el músculo de tal forma que puedan ser visualizados en la pantalla de un osciloscopio. El factor de amplificación puede ser superior al millón de veces (60 dB), con lo cual es posible que una señal de 5 micro voltios produzca una deflexión de 1 cm en el registro.

Dado que los potenciales EMG presentan una banda de frecuencia muy variable, el amplificador debe ser capaz de responder con fidelidad a señales comprendidas entre los 40 y los 10.000 Hz.

Las principales características de los amplificadores utilizados en EMG son:

- Número de canales: 2 (lo más habitual).
- Sensibilidad: 1 pV/div. a 10 mV/div.
- Impedancia de entrada: 100 MW//47 pF.
- CMRR a 50 Hz > 100 dB

Filtro de paso alto: entre 0,5 Hz y 3 kHz (6 dB/octava). Filtro de paso bajo: entre 0,1 y 15 kHz (12 dB/octava). Ruido: (1 pV eficaz entre 2 Hz y 10 kHz con la entrada cortocircuitada).

#### C) Sistemas de registro.

Se puede utilizar el registro gráfico en la pantalla de un tubo de rayos catódicos (osciloscopio) o por algún medio de registro permanente. Muy corrientemente los dos tipos de registro pueden ser usados simultáneamente.

En el registro osciloscopio, la señal se presenta sobre una pantalla fluorescente. Los potenciales se inscriben como desplazamientos verticales de una línea que se mueve en sentido horizontal a velocidad ajustable.

También pueden realizarse registros permanentes por medios fotográficos, sobre soportes magnéticos, en tubos de rayos catódicos de memoria (digital o de persistencia) y recientemente, el sistema de registro con impresora, del tipo de las empleadas en ordenador.

#### D) Altavoz.

Constituye un elemento indispensable, tan útil para el registro como la pantalla o la fotografía. A veces el oído proporciona una discriminación más fina que la visión de potenciales rápidos por el osciloscopio. Algunas características del electromiograma patológico, como las fibrilaciones o las salvas miotónicas, se perciben mejor acústicamente que por visualización directa.

Todo el equipo necesario para la realización de los electromiogramas, estimuladores, amplificador(es), sistemas de registro, altavoz, suele estar integrado en un instrumento compacto con una caja de entradas y salidas que suele ser independiente y estar conectada al equipo por medio de un cable. Los equipos más sencillos tienen, como mínimo dos canales y en la actualidad muestran amplia información de los resultados del registro en la misma pantalla del oscilógrafo. Siempre es posible disparar el barrido osciloscopio por medio del mismo estimulador con lo que se consigue un registro estacionario que se inicia con el artefacto de estímulo y termina con el fin de la respuesta registrada. Además, el equipo tiene mandos que permiten situar cursores en diferentes puntos del registro. Con estos cursores el sistema entrega la información del tiempo entre dos cursores situados horizontalmente o la amplitud, si se usan cursores verticales. De esta forma pueden obtenerse los tiempos de latencia.

#### 2.3.2. CUALIDADES DEL VALOR DIAGNOSTICO DEL EMG.

La Electromiografía (EMG) y las pruebas de conducción nerviosa constituyen los métodos de electrodiagnóstico más útiles en el estudio de la función motriz. Su valor diagnóstico presenta una serie de cualidades:

- ➡ *Objetividad elevada*, especialmente si se hace uso de las técnicas electromiográficas de carácter cuantitativo.

- *Precocidad en el diagnóstico.* Se manifiesta tanto en el *diagnóstico anatomopatológico*, señalando la magnitud de la lesión (compresión, sección afónica sección de nervio,...), como en el *diagnóstico topográfico*, pudiendo, en muchas ocasiones, concretar el asiento quote de la afección (médula, raíz anterior, plexos nerviosos, troncos nerviosos,...).
- *Rapidez en el pronóstico,* dando cuenta de los primeros signos de regeneración nerviosa antes de cualquier manifestación clínica.

### 2.3.3. RESULTADOS NORMALES

El tejido muscular en reposo es eléctricamente inactivo. Después de la actividad eléctrica causada por la inserción de las agujas, el electromiógrafo no debe detectar ninguna actividad anormal espontánea (es decir, un músculo en reposo debe estar eléctricamente silencioso, con la excepción del área de la unión neuromuscular, que en circunstancias normales, se activa muy espontáneamente). Cuando el músculo se contrae voluntariamente, los potenciales de acción comienzan a aparecer. Como la fuerza de la contracción muscular aumenta, más y más fibras musculares producen potenciales de acción. Cuando el músculo se contrae completamente, deben aparecer un grupo desordenado de potenciales de acción de tasas y amplitudes variables.

### 2.3.4. RESULTADOS ANORMALES

El EMG es utilizado para diagnosticar enfermedades que generalmente no están clasificadas en una de las siguientes categorías: neuropatías, enfermedades del empalme neuromuscular y miopatías.

Las Neuropatías se definen desde las siguientes del EMG:

- Un potencial de acción amplitud que es dos veces normal debido a un creciente número de fibras por unidad motora debido a la re inervación de fibras desnervadas.
- Un incremento en la duración del potencial de acción.
- Una disminución de las unidades motoras en el músculo (utilizando técnicas de estimación numérica de unidades motoras).

### Miopatías definiendo características del EMG:

- Disminución de la duración del potencial de acción. Una reducción en el área y la amplitud del radio del potencial de acción.
- Una disminución en el número de unidades motoras en el músculo.

Los resultados *anormales* son causados por las siguientes condiciones médicas:

- |  |  |
|--|--|
| ○ Neuropatía Alcohólica                | ○ Síndrome de Guillain-Barré           |
| ○ Esclerosis lateral amiotrófica       | ○ Síndrome miasténico de Eaton-Lambert |
| ○ Síndrome del compartimiento anterior | ○ Mononeuritis Múltiple                |
| ○ Disfunción del nervio axilar         | ○ Mononeuropatía                       |
| ○ Distrofia muscular de Becker         | ○ Enfermedad de la motoneurona         |
| ○ Plexopatía Braquial                  | ○ Atrofia del sistema múltiple         |
| ○ Síndrome del túnel carpiano          | ○ Miastenia grave                      |
| ○ Miopatía centronuclear               | ○ Miopatía                             |
| ○ Espondilosis cervical                | ○ Neuromiopatía                        |
| ○ Enfermedad de Charcot-Marie-Tooth    | ○ Neuropatía periférica                |
| ○ Disfunción del nervio peroneo común  | ○ Poliomieltis                         |
| ○ Denervación                          | ○ Poliomieltis                         |
| ○ Dermatomiositis                      | ○ Polineuropatía sensorio-motriz       |
| ○ Disfunción del nervio mediano distal | ○ Estenosis espinal                    |
| ○ Distrofia muscular de Duchenne       | ○ Disfunción del nervio tibial         |
| ○ Disfunción del nervio femoral        | ○ Disfunción del nervio radial         |
|  | ○ Ataxia de Friedreich                 |

## 2.4. HISTORIA

El primer material en el que aparece el EMG fue en el de trabajo de Francesco Redi en 1666. Redi descubrió un músculo altamente especializado en la Raya Eléctrica (pez) (Electric Eel) que generaba electricidad. En 1773, Walsh pudo demostrar que el tejido muscular de la Raya Eléctrica tenía la capacidad de generar una chispa de electricidad.

En 1792, en una publicación titulada *De Viribus Electricitatis in Motu Musculari Commentarius* escrita por Luigi Galvani, aparecía que el autor demostraba que la electricidad podía iniciar contracciones musculares. Seis décadas después, en 1849, Dubois-Raymond descubrió que era también posible llevar un registro de la actividad eléctrica durante la actividad de la contracción muscular. El primer registro actual fue hecho por Marey en 1890, quien además introdujo el término de electromiografía. En 1922, Gasser y Erlanger usaron un osciloscopio para mostrar las señales eléctricas de los músculos. Entre 1930 y 1950 los científicos comenzaron a utilizar electrodos mejorados y más sofisticados para los estudios musculares. El uso clínico del EMG para el tratamiento de desórdenes más específicos comenzó en la década de los 60'. Hardyck y sus colaboradores fueron los primeros (1966) practicante en usar el EMG. En los comienzos de los 80's, Cram y Steger introdujeron un método clínico para escanear una variedad de músculos utilizando dispositivo EMG sensible.

No fue hasta mediados de los 80's, cuando se integraron las técnicas de los electrodos, las cuales tenían un nivel tecnológico suficiente para la producción de instrumentación pequeña y de bajo peso y así mismo amplificadores que permitían avances en campos como los de la medicina o la biomecánica. En el presente, hay un número grande de amplificadores que se comercializan. La EMG se ha venido utilizando ampliamente para el registro de músculos superficiales en protocolos clínicos o kinesiólogos donde los electrodos intramusculares son utilizados para investigar músculos profundos o localizar la actividad muscular.

El primer estudio en profundidad del electromiograma (EMG) fue llevado a cabo por Piper en 1912, quien registró potenciales durante la contracción voluntaria empleando electrodos de superficie y un galvanómetro de hilo. Posteriormente, en 1929, Adrian y Broke introdujeron el electrodo concéntrico de aguja que hizo posible, conjuntamente con el osciloscopio de rayos catódicos y los amplificadores electrónicos, el estudio de potenciales de acción de unidades motrices y de fibras únicas.

Hay muchas aplicaciones para el uso de la EMG, es utilizada clínicamente para el diagnóstico de problemas neuronales o neuromusculares. Es utilizada así mismo en muchos tipos de laboratorio investigativos, incluyendo los que están en el campo de la

biomecánica para el análisis del control motriz, fisiología neuromuscular, desordenes de movimiento, control postural, terapia física.

## 2.5. FUNDAMENTOS FISIOLÓGICOS.

La membrana de las células excitables se encuentra polarizada, siendo el interior de la célula negativo con respecto al exterior. En la célula muscular, con un electrodo situado en el interior de la fibra y otro en el exterior se puede detectar una diferencia de potencial de reposo de unos 90 milivoltios. Este potencial es producido por diferencias existentes en la concentración de diversos iones ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Cl}^-$ , etc.). Además, obedeciendo a señales procedentes de otras células, la fibra muscular puede sufrir despolarizaciones transitorias (MUAPs) que determinan la actividad de la maquinaria contráctil de la fibra. En el músculo podemos distinguir dos tipos de unidades, las anatómicas y las funcionales. La unidad anatómica es la llamada *fibra muscular* y la unidad funcional es la *unidad motora (UM)*. Una UM es un grupo de fibras musculares inervado por una única motoneurona de la médula espinal o de un núcleo motor del tallo cerebral. Este concepto fue introducido por Liddell y Sherrington y comprende una motoneurona, su axón, las ramificaciones de éste y el conjunto de fibras musculares sobre los que estos hacen contacto sináptico. Si la motoneurona sufre una despolarización, ésta recorre todo el axón hasta las terminaciones sinápticas y provoca la despolarización, casi sincrónica, en todo el conjunto de fibras musculares de la UM.

La unidad contráctil de la musculatura del esqueleto es la fibra muscular, que es una célula cilíndrica de unos 50  $\mu\text{m}$  de diámetro, que al ser estimulada se contrae desarrollando fuerza. Un músculo consiste en haces paralelos de fibras musculares. La activación de cada fibra muscular se hace a través del axón de la fibra nerviosa motriz que la inerva. Según la posición y la función del músculo, el número de fibras musculares inervadas por un mismo axón puede variar entre uno o más de mil. El conjunto formado por la célula nerviosa motriz en la espina dorsal, su axón y las fibras musculares que éste inerva constituye la unidad funcional básica del sistema muscular y se conoce por unidad motora –UM– (“Ilustración 8”). Cuando el potencial de acción

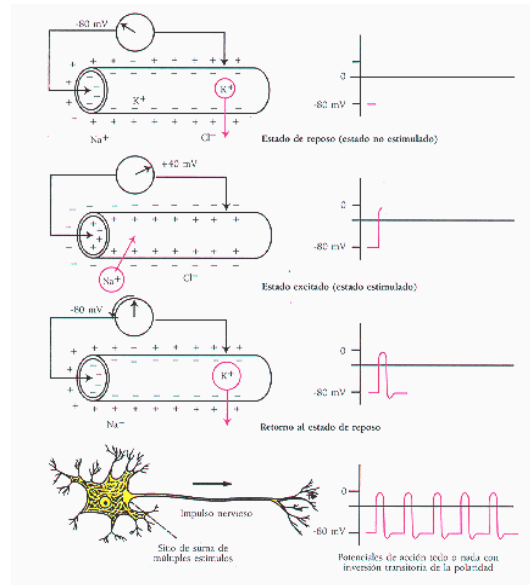


ILUSTRACIÓN 7: diferentes estados de la concentración de diversos iones que provocan el potencial.



del nervio alcanza el punto en el que éste se une con el músculo, se libera una cierta cantidad de un transmisor químico (la acetilcolina) que origina la despolarización local de la membrana de la fibra muscular. El transmisor es rápidamente neutralizado por una sustancia denominada estereato de acetilcolina, quedando la unión mioneuronal libre para una nueva excitación. Al potencial complejo que originan las fibras de una UM se le conoce por potencial de la unidad motriz (PUM) y es la suma de los potenciales de acción de las distintas fibras de la UM (potenciales de acción cuasi-sincrónicos en UM normales).

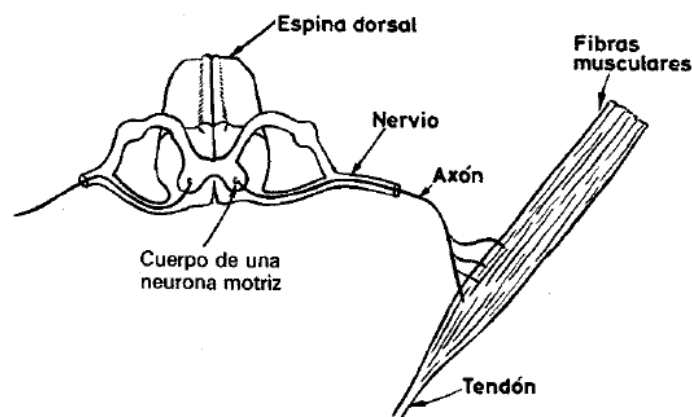
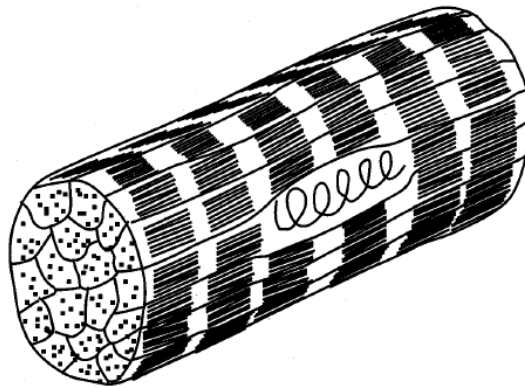


ILUSTRACIÓN 8: diagrama de una unidad motora.

Con todo esto, un músculo puede considerarse como un conjunto de unidades motoras dispuestas en paralelo, entre las cuales se encuentran otras fibras musculares modificadas llamadas *husos musculares* que contienen elementos sensoriales que perciben las tracciones en el músculo y sirven para el servocontrol de la posición del músculo (“Ilustración 9”). El significado de una orden de excitación dirigida a un músculo es que un número mayor o menor de unidades motoras recibirán una orden de despolarización. Una orden motora puede ser mínima, si solo ordena actividad a una única UM, o máxima, si ordena la contracción completa del músculo. La actividad de una UM es el elemento individualizable mínimo de la contracción muscular. En el electromiograma (EMG) se registra la actividad del músculo y en él se puede distinguir la activación de sus UMs, las variaciones características de estas activaciones y las relaciones de unas unidades con otras.





**ILUSTRACIÓN 9:** segmento de un haz de fibrillas musculares mostrando un huso con la terminación sensitiva anulo-espinal.

Se comprende que el número de fibras musculares que contiene cada UM determina la finura o la delicadeza de los movimientos que puede ejecutar. Este número de unidades recibe el nombre de «tasa de inervación» y cuanto menor sea (es decir, muchas motoneuronas y pocas fibras musculares) más flexibilidad motora tendrá el músculo. Por lo tanto, la fuerza de la contracción muscular se gradúa controlando el número de axones que se estimulan y la frecuencia de estimulación de cada axón.

Cada UM ocupa un territorio en el cual es posible registrar su actividad. Este territorio es algo mayor que el que físicamente ocupa sus fibras. De hecho, las unidades no se agavillan unas junto a otras, ni hay una frontera definida entre ellas; por el contrario, sus fibras o grupos de fibras se entrelazan con las de unidades vecinas de tal forma que en una reducida sección transversal de músculo conviven varias UMs. En líneas generales, se puede afirmar que una UM de un miembro superior se corresponde con un área de unos 5-7 mm de radio. En los miembros inferiores son 7-10 mm. Estos valores se han obtenido por medios electrofisiológicos.

### 3. ESTUDIOS REALIZADOS

#### 3.1. CALCULO DEL JIGGLE

##### 3.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Sabemos que los diferentes aparatos de obtención de señales no son perfectos y que siempre obtendremos ruido proveniente de diferentes sitios y tipos en la obtención de las señales registradas.

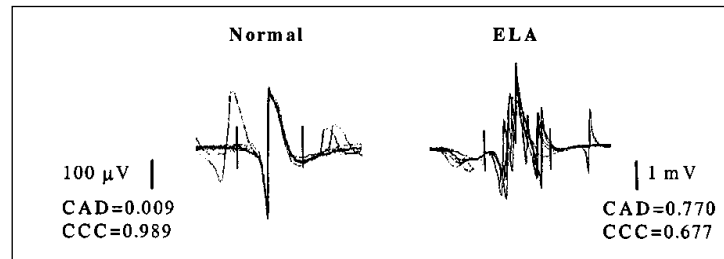
Este ruido, casi siempre perjudicial para el estudio, podemos cuantificarlo a partir de varios métodos, pero los más destacados en este tipo de investigaciones son los que se obtienen a través de las funciones CAD y CCC que se describen a continuación.

##### 3.1.1.1. MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DEL JIGGLE.

El MUP registrado, corresponde a la suma de los SFAP's (potenciales de acción generados por las fibras individuales) pertenecientes a una determinada unidad motora y situadas en el radio de acción del electrodo de registro.

Una característica importante del MUP es la variabilidad de su forma en descargas consecutivas (Jiggle), la cual depende del comportamiento de los potenciales de acción de las fibras tomadas para el registro del MUP, como también de posibles trastornos en la transmisión neuromuscular generados por posibles enfermedades, las cuales incrementan el Jitter (variación de la amplitud entre descargas consecutivas) de los SFAPs (“Ilustración 10”).

Existen varios parámetros capaces de expresar la variabilidad en la forma del MUAP, pero en este estudio se han utilizado los descritos a continuación, los cuales Staleberg y Sonno consideraron los más apropiados teniendo en cuenta el ruido contenido en las señales registradas y su necesidad de minimizarlo.



**ILUSTRACIÓN 10:** Superposición de potenciales en un individuo sano (izquierda) y en un paciente con Ela (derecha). Se observa una mayor variabilidad en el potencial patológico.

**CAD, Consecutive Amplitude Differences: "valor normalizado de las diferencias consecutivas de amplitud".**

Este parámetro puede considerarse como la razón existente entre el área de la "Banda de Jiggling" (banda de fluctuación de la amplitud en las descargas consecutivas) respecto al área total del potencial de acción de unidad motora (MUAP).

Para calcular el CAD de  $m$  descargas consecutivas, representadas matemáticamente como:

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= \{y_1(1), y_1(2), \dots, y_1(n)\} \\
 &\dots \\
 Y_k &= \{y_k(1), y_k(2), \dots, y_k(n)\} \\
 &\dots \\
 Y_m &= \{y_m(1), y_m(2), \dots, y_m(n)\}
 \end{aligned}$$

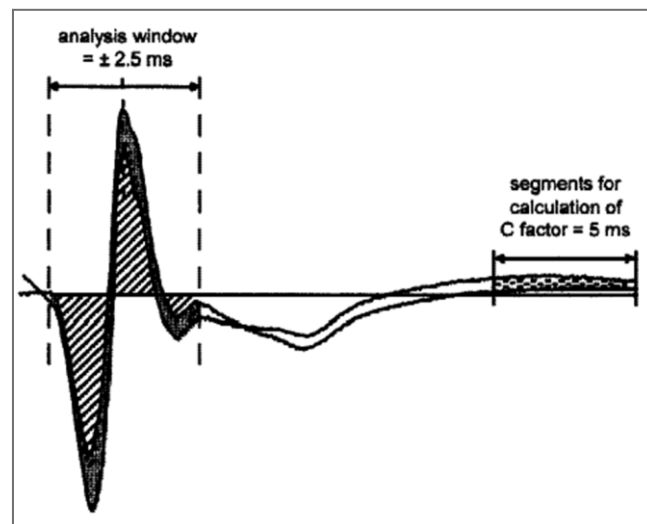
**ECUACIÓN 1**

Se calculan las diferencias absolutas de amplitud para cada muestra y cada par de descargas consecutivas, y se calcula la mediana de estos valores para cada instante de tiempo. Se introduce un factor de corrección de las fluctuaciones de la línea de base por ruido biológico o técnico, "C" ("Ecuación 3"), definido como el promedio de la mediana de las diferencias de amplitud entre descargas consecutivas en los últimos 5 ms de la ventana original de registro de la descarga, fuera de la zona de actividad del

potencial. El resultado se divide entre la amplitud integrada en la ventana de análisis de 5 ms (se toma una ventana de análisis de 5 ms en torno al máximo, 2.5 ms de señal anteriores y posteriores), es decir, el área, obteniéndose el valor normalizado (“Ecuación 2”).

$$CAD_{Y_1, Y_2, \dots, Y_m} = \frac{\sum_{t=1}^n \{ \text{mediana} [|y_1(t) - y_2(t)|, |y_2(t) - y_3(t)|, \dots, |y_{m-1}(t) - y_m(t)|] - C \}}{\sum_{t=1}^n y(t)}$$

ECUACIÓN 2



**ILUSTRACIÓN 11:** Forma de onda de dos descargas consecutivas de un MUP alineadas en tiempo sobre la base de su pico máximo negativo. El CAD es la proporción entre el área estimada de la banda de Jigling (zona gris) que comprende tanto la variación fisiológica como la de fluctuación de base que debe ser restada. El área correspondiente a la fluctuación de base es estimada por el factor c, calculado a partir de os 5 ms de la señal fuera de la duración del MUP (zona punteada).

Es muy importante definir la línea de base como referencia imprescindible que nos ayude a discernir entre potencial y ruido y demás fenómenos.

En muchas señales la línea de base se define e identifica fácilmente, pero en otros potenciales se encuentra desplazada por efecto del ruido y la presencia de potenciales secundarios, que dificultan su cálculo.

$$C = \frac{\sum_{t=1}^n \left\{ \text{mediana} \left[ |y_{f1}(t) - y_{f2}(t)|, |y_{f2}(t) - y_{f3}(t)|, K, |y_{f(m-1)}(t) - y_{fm}(t)| \right] \right\}}{n}$$

ECUACIÓN 3

Donde  $Y_{fk} = \{y_{fk}(1), y_{fk}(2), \dots, y_{fk}(n)\}$  son las  $n$  muestras que forman los últimos 5 ms de la ventana de registro de la descarga  $k$ .

**CCC, Cross-correlational Coefficient of the Consecutive discharges": "la mediana de los valores de cross-correlation para las diferencias de amplitud en descargas consecutivas".**

Este parámetro calcula la correlación cruzada (crosscorrelation) para todos los pares de descargas consecutivas, y de todos estos valores haya la mediana, con esto el resultado es el llamado CCC (coeficiente de correlación cruzada de las descargas consecutivas: crosscorrelational coefficients of the consecutive discharges). Como las fluctuaciones de la línea de base no tienen influencia en el valor de correlación cruzada, no se incluye ningún factor de corrección. La fórmula que describe este parámetro se presenta a continuación ("Ecuación 4")

$$CCC = \text{mediana}[\text{crosscorr}(Y_1, Y_2), K, \text{crosscorr}(Y_{k-1}, Y_k), \dots, \text{crosscorr}(Y_{m-1}, Y_m)]$$

ECUACIÓN 4

Donde  $\text{crosscorr}(Y_{k-1}, Y_k)$  es la correlación cruzada entre las descargas  $Y_{k-1}$  e  $Y_k$ .

### 3.1.2. PROGRAMAS REALIZADOS

Para la implementación del CAD a través de Matlab, se ha utilizado el siguiente código:

```
1 function [x]=CAD(f,arch);
2 %Parametros de entrada de la función:
3 %-f: frecuencia de muestreo de la señal.
4 %-arch: nombre del archivo del cual queremos calcular el CAD.
5
6 load(arch,'y'); %Queda en y el nombre de arch.
7 u=round(f*0.005); %Calcula en numero de muestras qpara 5 ms.
8 [m,n]=size(y);
9 figure(1);plot(y);title('Potenciales');
10
11 % Calculos para hayar C.
12
13 yb=y((m-u):1:m,:); % Ultimos 5 ms de la señal y.
14 dyb=abs(diff(yb)); % Diferencia de capturas consecutivas.
15
16 C=mean(median(dyb,2));
17
18 % Para calcular el CAD:
19
20 % De forma aproximada buscamos donde se encuentra el máximo de la señal.
21 [v,l]=max(y(1:1:m,:));
22 r=mode(l);
23
24 u=round(u/2);
25 yy=y((r-u):1:(r+u),:); % Cogemos solo los 5ms en torno al maximo.
26 dy=abs(diff(yy));
27 medY= median(dy,2);
28
29 CAD=mean(medY-C)/sum(medY)
30 x=CAD;
31 end
```

ILUSTRACIÓN 12: Código de implementación en Matlab para el cálculo del parámetro CAD.

La decisión de poner la frecuencia como parámetro de entrada, se lleva a cabo ya que no todas las señales que nos pueden dar van a tener la misma, y porque además, para poder saber cuántas muestras componen 5 ms de señal es necesario conocerla.

Inicialmente descargamos todos los valores de la señal seleccionada en la variable 'y' (línea 6), obtenemos el tamaño, es decir, el número de descargas (n) y muestras tomadas para cada descarga (m). Representamos la señal gráficamente para poder ver como es, e imaginarnos a primera vista el resultado que vamos a obtener.

Lo primero que calculamos es “C” ya que este va a ser un valor fijo, que vamos a necesitar para poder calcular el CAD de la señal, para ello, seleccionamos los últimos 5 ms de la señal, guardándolos en la variable 'yb' (línea 13), posteriormente calculamos las diferencias entre las descargas consecutivas así como la mediana de dicho resultado para cada instante de tiempo y finalmente calculamos la media de dichas medianas (línea 16).

Una vez calculado “C”, necesitaremos saber donde se encuentra el máximo de la señal, correspondiente a la espiga del potencial, para poder extraer de la señal inicial ‘y’, los 5 ms que se encuentran en torno a dicho máximo. Para ello se ha guardado en una matriz, la posición dentro de la señal original ‘y’, y el valor de los máximos de cada una de las n capturas (línea 21). Así pues, sabiendo que los SFAP’s pertenecientes a una determinada unidad motora y situadas en el radio de acción del electrodo de registro, van a ser muy similares, siempre que no exista ninguna anomalía, buscamos la posición del valor máximo que más veces se repite para cada captura y tomamos los 2,5 ms a la derecha e izquierda de dicha posición (línea 22, 24 y 25).

En este momento ya tenemos todos los datos necesarios para el cálculo del CAD y podemos entonces aplicar la fórmula que se encuentra detallada en el contenido de este documento (“Ecuación 2”).

#### CÓDIGO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA FUNCIÓN PARA EL CÁLCULO DEL CCC

En la “Ilustración 13” se muestra el código utilizado en la implementación del parámetro CCC mediante la herramienta de Matlab.

Para dicha realización se han tenido en cuenta los parámetros de entrada necesarios para el correcto cálculo de este parámetro, como son, la frecuencia de muestreo (aunque en este caso realmente no es necesario ya que utilizamos toda la señal para el cálculo) y el nombre del archivo donde se encuentran los valores de la captura del potencial que queramos calcular el CCC en cuestión.

El código utilizado es muy sencillo, ya que para calcular el CCC de un potencial, solo es necesario hallar la correlación cruzada entre descargas consecutivas, función que ya viene incorporada en Matlab. Pero surge un problema en dicho cálculo ya que Matlab al introducir matrices en dicha función calcula la correlación de cada una de las capturas con todas las demás, dándonos como resultado otra matriz en la que en la diagonal se encuentran los valores que a nosotros realmente nos interesan, por eso, de esta manera, en la línea siguiente al cálculo de la correlación, lo que hacemos es seleccionar la diagonal de la matriz obtenida y guardarla en un array del cual posteriormente hallaremos la mediana siendo este el valor correspondiente al CCC.

```
1 function z=CCC(f,arch)
2 %Parametros de entrada de la función:
3 %-f: frecuencia de muestreo de la señal.
4 %-arch: nombre del archivo del cual queremos calcular el CAD.
5
6     load(arch,'y');      %Queda en y el nombre de arch.
7
8     [m,n]=size(y);
9     figure(1);plot(y);title('Potenciales');
10
11     % Para calcula el CCC:
12
13     b=corr(y(:,1:1:(n-1)),y(:,2:1:n));
14     bb=diag(b);
15     CCC=mean(bb)
16     z=CCC;
17 end
```

ILUSTRACIÓN 13: Código de Matlab para el cálculo del parámetro CCC (coeficiente de correlación cruzada de las descargas consecutivas: Crosscorrelational Coefficients of the ConsecutiveDischarges).

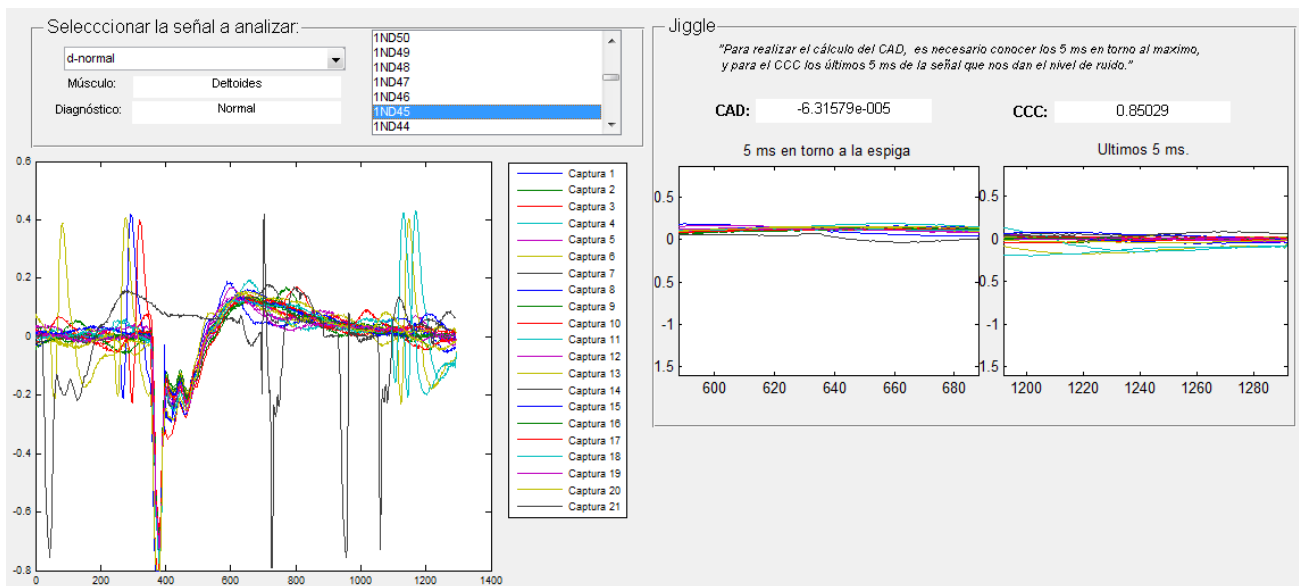
### 3.1.3. RESULTADOS OBTENIDOS

Al aplicar este código a las señales facilitadas, hemos comprobado que no es del todo correcto, ya que en algunos casos, la espiga no es representada mediante un máximo característico de la señal y que se repite para la mayoría de las capturas, sino que viene de un mínimo -“máximo” que nos da una pendiente que a primera vista marca la forma de señal que se está estudiando.

De este modo nos encontramos con la señal “1ND58.mat”, donde el resultado para el cálculo del CAD nos da negativo, algo que en la teoría se ha visto que es un resultado erróneo, ya que el valor del CAD siempre es mayor de cero. Si nos fijamos en cómo es la señal vemos que esto se debe a que no tiene un máximo que se pueda poner en común para cada una de las capturas, por lo tanto la detección del máximo de la espiga no es correcta y en consecuencia el cálculo del CAD para esta señal tampoco.

A continuación podemos ver gráficamente este hecho puntual que solo se repite en la señal “1ND45.mat” (“Ilustración 14”).





**ILUSTRACIÓN 14:** Imagen correspondiente al cálculo del CAD de la señal “1ND45.mat” donde podemos ver la grafica de la señal con los valores del CAD y CCC, y las graficas correspondientes a los 5ms utilizados en cada caso.

Si estudiamos detenidamente los datos obtenidos durante el cálculo del CAD para estas señales vemos que en la señal “1ND45.mat” el máximo de la señal correspondiente a la espiga para la mayoría de las capturas, está bien detectado, luego el problema de obtener un valor negativo en el CAD para esta señal no se debe a una mala detección del máximo de la espiga como en un principio pensábamos. Para verificar este hecho vemos los resultados numéricos de los máximos detectados y su posición en la señal original (“Tabla 1”):

Máximos de espiga detectados en cada captura											
590	770	320	679	673	1148	630	293	638	638	1169	599
	84	713	616	651	715	1131	606	276	702		

**TABLA 1**

Valor que más se repite de todos estos y que correspondería al máximo general (para casi todas las capturas) de la espiga de la seña corresponde al 638, que si lo miramos gráficamente como se muestra a continuación, vemos que si que corresponde con el punto que más o menos nos interesa para el cálculo.

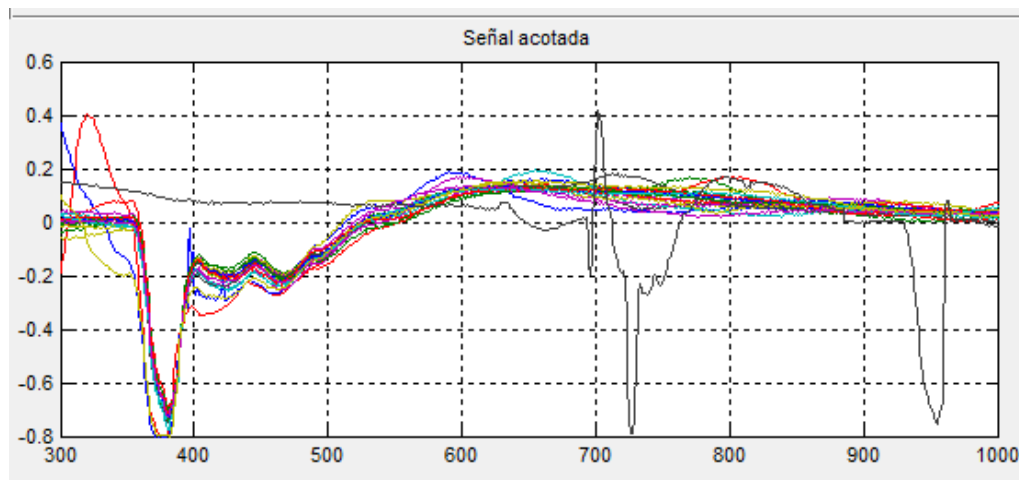


ILUSTRACIÓN 15: señal recortada donde se puede ver que el máximo para la mayoría de las capturas esta bien detectado.

De este modo vemos que la causa por la que el valor obtenido para el CAD sea negativo no es que la espiga este mal detectada. De este modo revisamos el resto de valores que obtenemos durante el cálculo para ver donde nos lleva a que el CAD sea un valor negativo.

- Valores escogidos alrededor del máximo de la espiga.
- Diferencias de estos datos anteriores en valores absolutos entre puntos consecutivos.
- Valores obtenidos de restar a los anteriores el parámetro C.
- ...

Una vez revisados los datos vemos que la causa por la que el valor de CAD nos da negativo se debe a que los valores que obtenemos en la diferencia en valor absoluto de datos consecutivos es menor que el valor de C (0.0019) que luego se le resta, para la mayoría de los casos.

A continuación (“Tabla 2”) vemos algunos de los de los valores de las diferencias en valor absoluto, donde están marcados en naranja los que son menores que el valor de C.

0,00585938	0,00625	0,0046875	0,00039063	0,0046875	0,00273438	0,00273438	0	0,00195313	0,003125	...
0,00234375	0,00039063	0,00429687	0,00195313	0,00234375	0,00234375	0,0046875	0,00546875	0,00078125	0,00195313	...
0,00585938	0,00195313	0,00117187	0,00546875	0,00117188	0	0,003125	0,00195313	0,00234375	0,00039062	...
0,00078125	0,0078125	0,003125	0,00039063	0,00078125	0,00507813	0,00039062	0,003125	0,00429687	0,00039062	...
0,00078125	0,00273438	0,00273438	0,0015625	0,00273438	0	0,00390625	0,0015625	0,00273438	0,00351563	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

TABLA 2: valores para el parámetro C correspondientes a la señal “1ND45.mat”

Ahora realizaremos el mismo estudio que para la señal anterior también para la señal “1ND58.mat”, correspondiente al otro CAD negativo de todas las señales estudiadas.

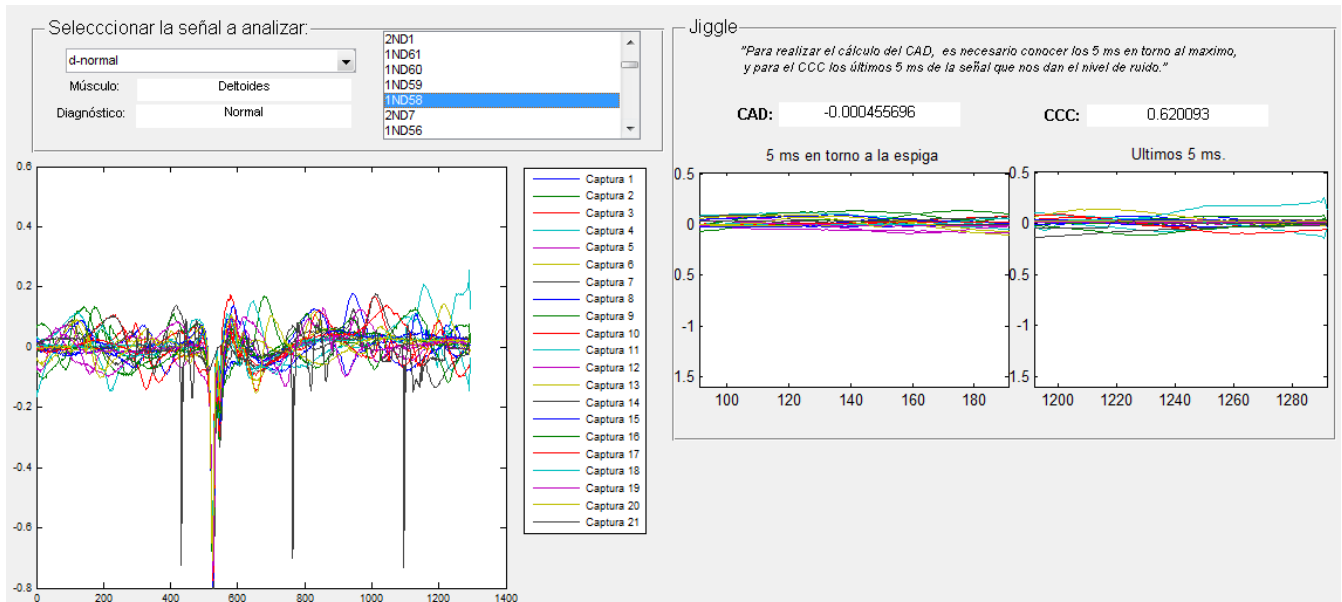


ILUSTRACIÓN 16: Imagen correspondiente al cálculo del CAD de la señal “1nd58.mat”. Graficas de los segmentos de señal, que selecciona el código generado para el cálculo del CAD.

En este caso, en la imagen superior donde se puede ver la señal original junto con las graficas de los rangos necesarios para el cálculo del CAD y CCC, sí que se puede apreciar una mala detección del máximo de la espiga. Esto puede deberse que la variabilidad (dato en estudio en este punto) es muy grande entre capturas y que cada una de ellas contiene el máximo de la espiga en puntos diferentes para cada captura. Lo vemos con datos en la “Tabla 3”:

Máximos de espiga detectados en cada captura											
943	678	579	647	965	1025	418	827	141	844	1156	946
		1216	1010	588	176	1042	1291	855	699	846	

TABLA 3

Valor que más se repite (la moda) de los datos anteriores: 141 (según Matlab); este valor es incierto ya que ninguno de los valores que arriba vemos se repite ninguna vez,

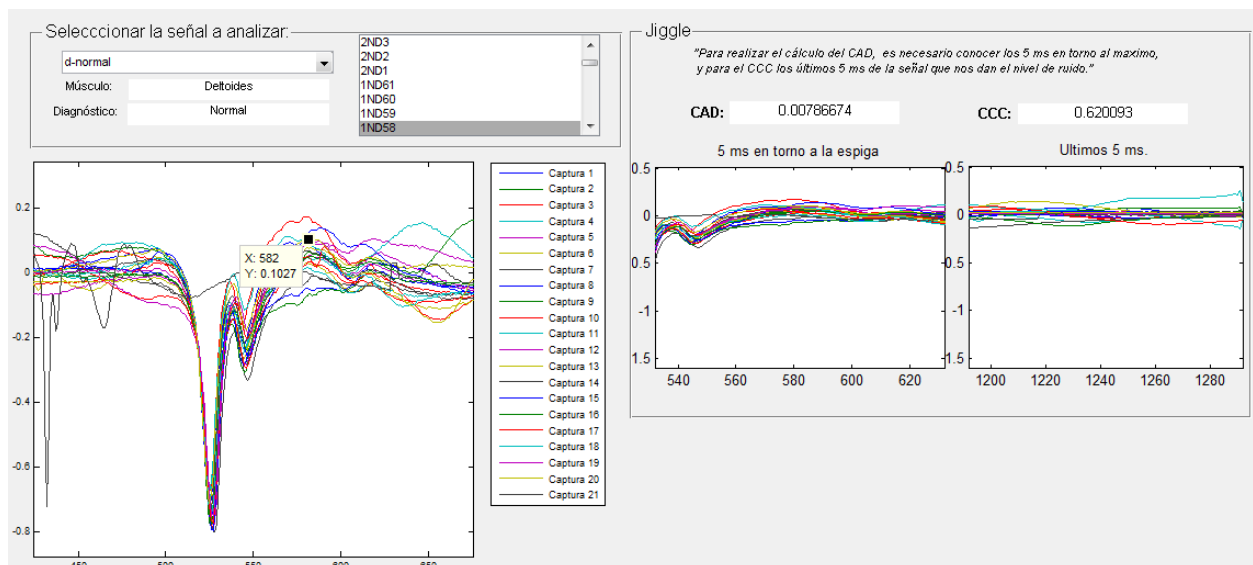
por tanto este es el hecho de que el dato obtenido en el cálculo del CAD de esta señal sea incorrecto.

Para poder corregir esto sin que afecte al resto de señales, para las cuales el máximo de la espiga detectado es correcto aplicaremos el siguiente código:

```
% Si el valor obtenido para el CAD es negativo:
if CAD<0
    if length(find(r==1))==1;
        [cual,r]=max(mean(y,2));
        yy=y((r-u):1:(r+u),:); % Cogemos solo los 5ms alrededor
de la espiga.
        ejes=[(r-u) (r+u) 2*min(min(y)) 2*max(max(y))];
        dy=abs(diff(yy));
        medY= median(dy,2);
        CAD=mean(medY-C)/sum(medY);
    end
end
```

Con esto lo que hacemos es mirar si el CAD es negativo, y si el valor obtenido de la moda de los máximos solo se encuentra una vez (ya que esto no ocurre en el caso anterior donde el CAD era negativo pero el máximo Estaba bien detectado), así lo que haremos será buscar el máximo pero en la media de todas las capturas, de este modo el máximo de la espiga si es correcto y no ha afectado al proceso del resto de señales.

De este modo el resultado grafico y numérico una vez aplicado el cambio es el mostrado en la “Ilustración 17”.

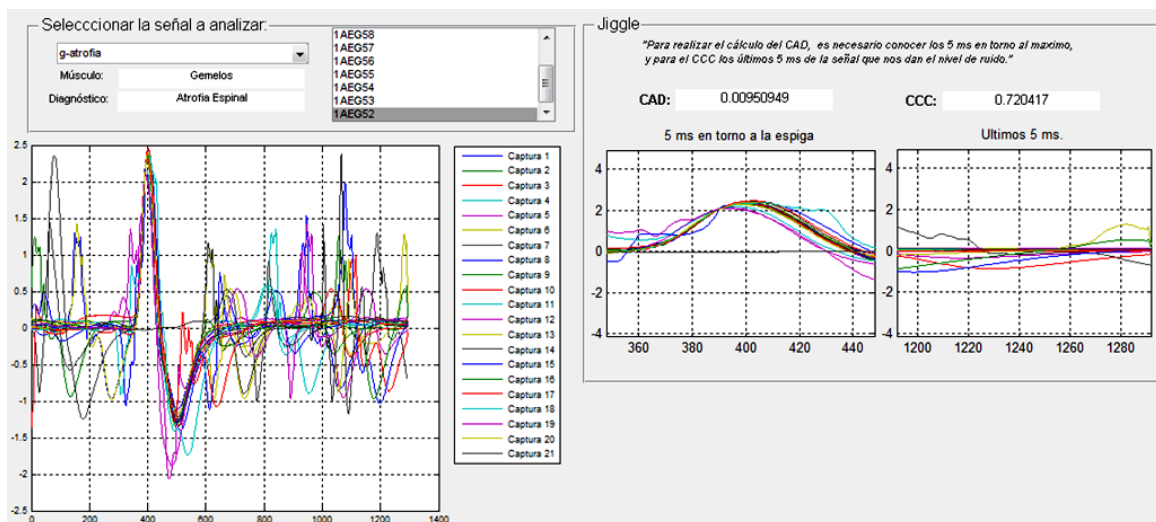


**ILUSTRACIÓN 17:** pantallazo de la señal “1ND58.mat” correspondiente al musculo deltoides con diagnostico normal, donde vemos la grafica de la señal, los resultados para el cálculo del CAD y CCC y los tramos de señal utilizados para dichos cálculos.

Ahora el valor del CAD ya no es negativo y además el máximo de la espiga general de las capturas es el correcto como podemos ver en el comentario de la señal original que nos indica el valor del máximo y la posición para una de las capturas, y en el grafico de los 5 ms que lo rodean donde ese máximo es el centro.

Se puede apreciar que el valor para el parámetro CCC en ninguno de los dos casos, cambia, ya que este parámetro es calculado sobre toda la señal sin hacer selección de ningún rango de la señal, lo que si podemos decir de él, es que es un valor media si lo comparamos con valores obtenidos en otros archivos como los que se muestran a continuación.

Otro ejemplo, ejecutamos la función con el archivo “1AEG52.mat”, que contiene una señal bastante variable en lo que a capturas se refiere, el resultado obtenido es el que se muestra en la “Ilustración 18”. Puede apreciarse que la selección de los 5 ms de señal en torno al máximo son cogidos de manera correcta y el valor obtenido para el CAD es un valor coherente.



**ILUSTRACIÓN 18:** Resultado de la selección de señal de los últimos cinco ms y los cinco ms en torno al máximo de la espiga correspondiente a el cálculo del CAD y CCC para el archivo “1AEG52.mat”

En los siguiente ejemplos, una señal que tiene mucha variabilidad en torno al máximo de la espiga y también en los últimos 5 ms de la captura del potencial y otra en la que los 5 ms correspondientes al entorno del máximo son bastante parecidos pero con un pequeño traslado entre ello, y lo últimos 5 ms de la señal al igual que en la mencionada anteriormente tiene mucha variabilidad., Nos da los siguientes valores para el CAD y CCC mostrados en las ilustraciones pertenecientes a cada una de ellas “Ilustración 19” e “Ilustración 20” respectivamente.

Las partes de señal de interés para el cálculo del CAD son seleccionadas correctamente en ambos casos, y los valores obtenidos son valores que en principio no parecen que sean incorrectos

Un dato que podemos deducir y que era lógico ya que es lo que se busca con este parámetro para el valor del CCC en estas dos señales, es que dicho valor aumenta cuando la variabilidad de la señal es menor, es decir, en el primer caso, tenemos más variabilidad de la señal, ya que la señal es bastante distinta en la parte central y en la final, y en el segundo caso esto ocurre únicamente en la parte final, siendo más o menos el resto de las capturas muy parecidas entre sí.

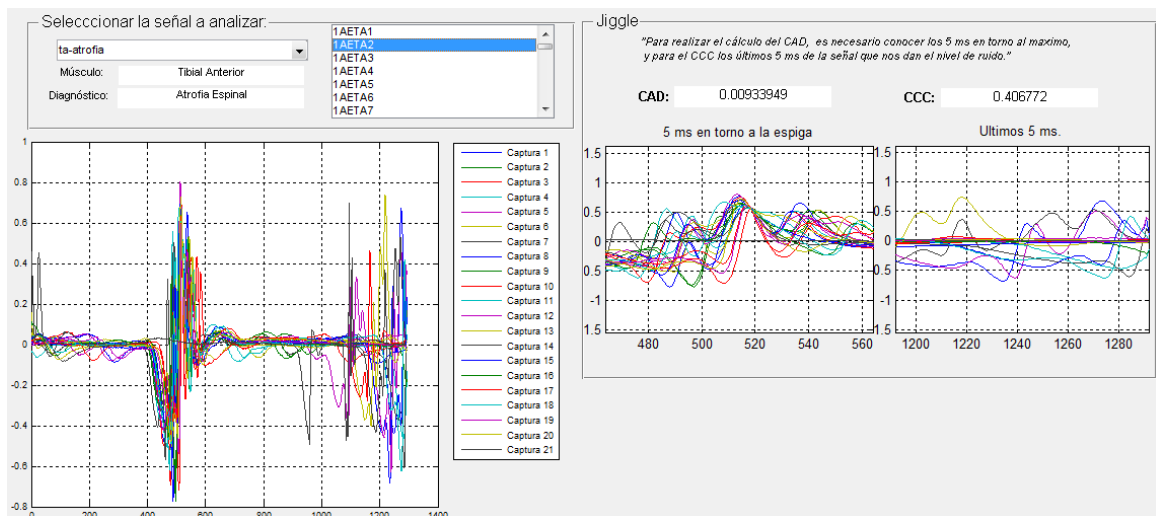


ILUSTRACIÓN 19: resultados del análisis del archivo “1AETA2.mat” para los parámetros CAD y CCC.

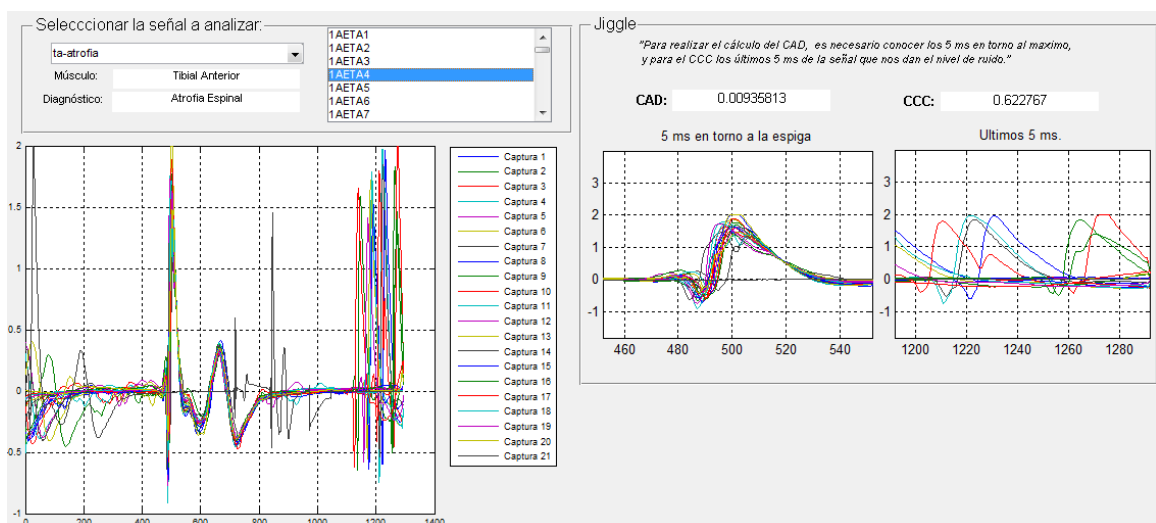


ILUSTRACIÓN 20: resultados el cálculo de los parámetros CAD y CCC correspondientes a la señal “1AETA4.mat”.

Otra de las señales facilitadas y la cual sería interesante estudiar es la de la “Ilustración 21”, en la cual vemos que la señal presenta dos picos muy parecidos que podrían considerarse como espiga, pero las señales EMG solo poseen una espiga, lo cual nos hace buscar una serie de reglas que nos hagan elegir uno u otro, algo que de momento no está aplicado en el código.

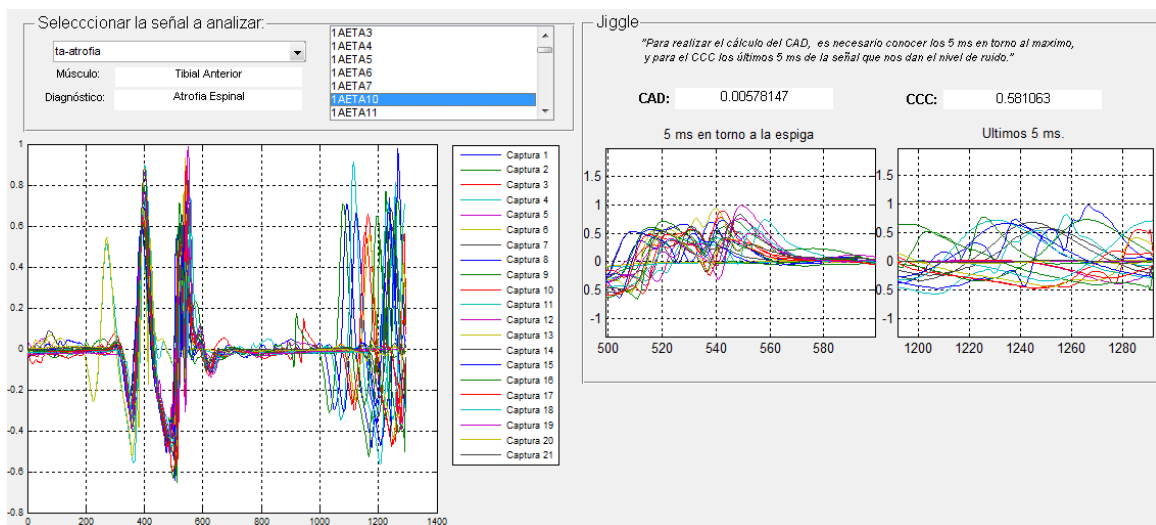


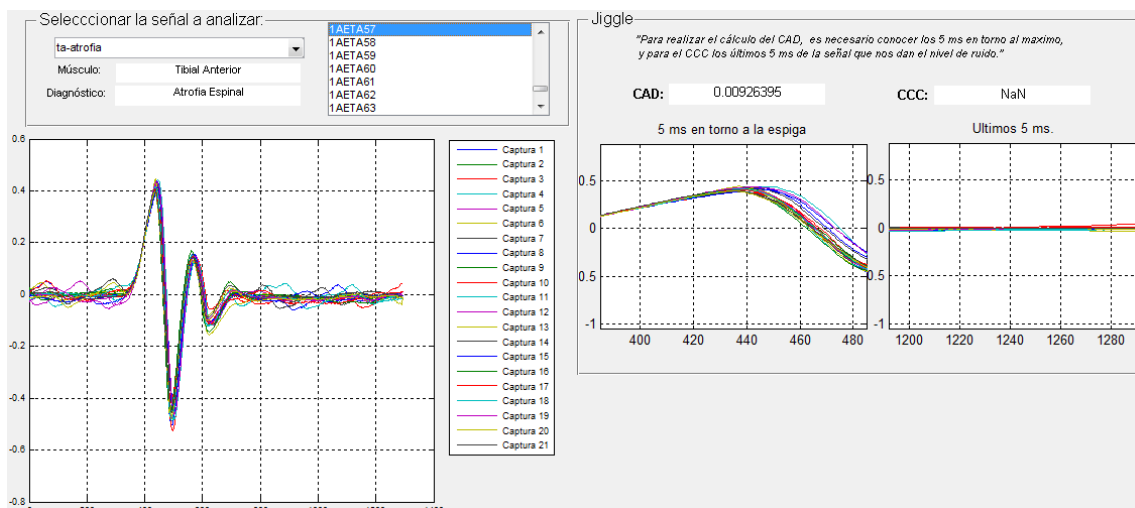
ILUSTRACIÓN 21: Resultado obtenido para la señal “1AETA10.mat” para el cálculo del CAD y CCC.

Al analizar la señal a primera vista, parece coherente que el pico máximo que representa la espiga sea el primero, lo cual en el caso de la señal seleccionada vemos que no es así, por lo tanto nos lleva a pensar que este código no nos sirve en caso de encontrarnos con este tipo de señales y tendríamos que buscar una alternativa que nos eliminase este problema.

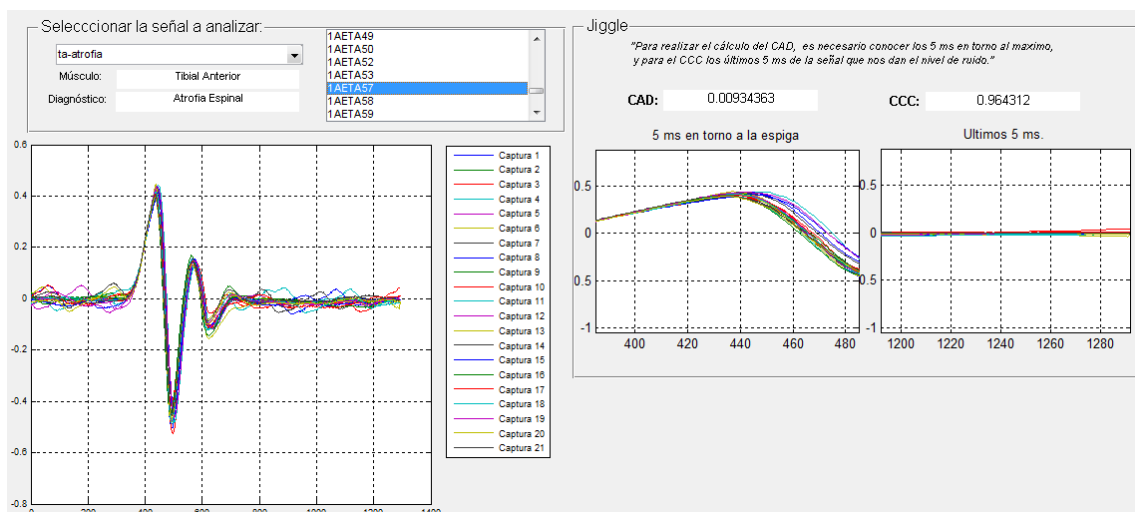
En cuanto al CCC como es una señal con mucho variabilidad en la zona final y en la central de la señal el valor que obtenemos es un valor bajo.

Un último ejemplo “Ilustración 22”, para el que cogemos una señal en la cual las capturas seleccionadas son capturas muy parecidas entre si, por lo que la variabilidad entre ellas no es muy grande, de este modo, vemos que el valor obtenido para el CCC es un valor que se acerca mucho a la unidad (valor suponemos representa variabilidad 0).





(a)



(b)

**ILUSTRACIÓN 22:** Resultados obtenidos para el análisis del archivo “1AETA57.MAT” en el cálculo del CAD y CCC de la señal.

(a) para la primera propuesta de código.

(b) Para la corrección propuesta una vez detectado el error causante del valor “NaN” para el parámetro CCC.

En el cálculo del CCC se han encontrado en varios archivos una incidencia que provoca que el resultado obtenido para la variable CCC sea igual a NaN.

Dichos archivos en sus datos la o las primeras columnas contienen todo ceros, luego al aplicar la correlación cruzada para esos casos nos da infinito (en Matlab este dato lo pone como NaN “Not A Number”), y como media de los valores selecciona ese aunque existan más.

Estos casos que habría que tenerlos en cuenta para el correcto cálculo de este parámetro. Los archivos en los que esto ocurre son los siguientes:



✓ 1AETA12.MAT

Generamos el código para el cálculo del CCC para esta señal, y en la selección de los datos en los tramos que necesitamos (toda la señal completa excepto la última columna y toda la señal completa excepto la primera columna) para la aplicación de la correlación, vemos que la primera columna de datos pertenecientes a la señal completa es una columna de todo ceros ("Tabla 4"):

0	0,00683594	0,40527344	0,02246094	0,0234375	-0,0878906	0,00976563	0,01660156	...
0	0,00585938	0,40136719	0,0234375	0,02539063	-0,0800781	0,0078125	0,01757813	...
0	0,00683594	0,33886719	0,02539063	0,0234375	-0,0800781	0,00585938	0,01855469	...
0	0,00585938	0,32617188	0,02441406	0,02246094	-0,0761718	0,00878906	0,01757813	...
0	0,00585938	0,31640625	0,0234375	0,02148438	-0,0722656	0,00878906	0,01660156	...
0	0,00683594	0,31933594	0,02539063	0,02246094	-0,0703125	0,00878906	0,01757813	...
0	0,00585938	0,3203125	0,0234375	0,0234375	-0,0644531	0,00976563	0,01757813	...
0	0,00390625	0,30761719	0,02539063	0,02246094	-0,0625	0,00683594	0,01757813	...
0	0,00488281	0,28027344	0,02441406	0,02050781	-0,0625	0,0078125	0,015625	...
0	0,00683594	0,22167969	0,02441406	0,01953125	-0,0595703	0,00878906	0,01464844	...
0	0,00585938	0,12890625	0,02539063	0,02148438	-0,0566406	0,0078125	0,01367188	...
0	0,00683594	0,03808594	0,02441406	0,02050781	-0,0556640	0,00683594	0,015625	...
0	0,00585938	-0,0537109	0,02441406	0,02148438	-0,0527343	0,0078125	0,015625	...
0	0,00585938	-0,1826171	0,0234375	0,01953125	-0,0488281	0,00878906	0,01660156	...
0	0,00683594	-0,3535156	0,02539063	0,02050781	-0,046875	0,0078125	0,01757813	...
0	0,00585938	-0,4892578	0,02441406	0,02441406	-0,0410156	0,0078125	0,01660156	...
0	0,00390625	-0,4677734	0,02441406	0,02148438	-0,0390625	0,0078125	0,01757813	...
0	0,00683594	-0,2744140	0,0234375	0,02148438	-0,0351562	0,0078125	0,01855469	...
0	0,00585938	0,0068359	0,02246094	0,02050781	-0,0302734	0,0078125	0,015625	...
0	0,00585938	0,25976563	0,02246094	0,01855469	-0,0283203	0,00683594	0,01464844	...
0	0,0078125	0,41796875	0,02539063	0,02050781	-0,0263671	0,00585938	0,01367188	...
0	0,00878906	0,50195313	0,0234375	0,01757813	-0,0234375	0,00488281	0,01367188	...
0	0,00683594	0,53710938	0,02148438	0,02050781	-0,0224609	0,00683594	0,015625	...
0	0,0078125	0,53515625	0,02246094	0,0234375	-0,0214843	0,00585938	0,01464844	...
0	0,00878906	0,51464844	0,02148438	0,02148438	-0,0166015	0,00683594	0,01464844	...

TABLA 4

El resultado de la correlación es el mostrado en la "Tabla 5", donde vemos que la correlación de una señal consigo misma nos da como resultado 1 y también veos como la primera fila correspondiente a la correlación entre la columna de ceros y cada una de las posteriores columnas nos da como resultado NaN ya que es el resultado de correlacionar cero con algo, y esto como antes hemos dicho el resultado matemático es infinito.

NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	...
1	0,6754	0,8146	0,4423	0,9119	0,8892	0,7379	0,7766	0,7125	0,7658	0,7934	...
0,6754	1	0,6273	0,7042	0,6036	0,595	0,798	0,7823	0,7966	0,8146	0,8526	...
0,8146	0,6273	1	0,5129	0,6998	0,6839	0,6499	0,6714	0,7324	0,6812	0,6822	...
0,4423	0,7042	0,5129	1	0,4547	0,3885	0,6765	0,7165	0,7011	0,6849	0,717	...
0,9119	0,6036	0,6998	0,4547	1	0,9253	0,7338	0,7923	0,737	0,7857	0,77	...
0,8892	0,595	0,6839	0,3885	0,9253	1	0,7139	0,7544	0,7856	0,7109	0,7836	...
0,7379	0,798	0,6499	0,6765	0,7338	0,7139	1	0,8562	0,8299	0,8753	0,9024	...
0,7766	0,7823	0,6714	0,7165	0,7923	0,7544	0,8562	1	0,8712	0,9073	0,9349	...
0,7125	0,7966	0,7324	0,7011	0,737	0,7856	0,8299	0,8712	1	0,8326	0,9113	...
0,7658	0,8146	0,6812	0,6849	0,7857	0,7109	0,8753	0,9073	0,8326	1	0,9049	...
0,7934	0,8526	0,6822	0,717	0,77	0,7836	0,9024	0,9349	0,9113	0,9049	1	...
0,7718	0,8379	0,722	0,7134	0,7756	0,766	0,8714	0,9447	0,9485	0,9041	0,951	...
0,7432	0,8014	0,7041	0,7034	0,7426	0,7738	0,845	0,9165	0,9471	0,8691	0,9367	...
0,7605	0,7984	0,6647	0,715	0,7681	0,7728	0,8287	0,9364	0,9096	0,838	0,9361	...
0,4598	0,704	0,5461	0,6439	0,4999	0,4772	0,7661	0,7715	0,8213	0,8076	0,7825	...
0,6362	0,7871	0,6354	0,7675	0,6503	0,6431	0,7142	0,8203	0,8465	0,7358	0,8299	...
0,7418	0,784	0,7287	0,7456	0,7849	0,7861	0,8747	0,8963	0,9382	0,88	0,9216	...
0,7479	0,7914	0,7128	0,7262	0,7774	0,7537	0,8736	0,9218	0,8847	0,9446	0,9077	...
0,778	0,8339	0,6581	0,7179	0,7631	0,7432	0,8606	0,9438	0,8513	0,8847	0,9426	...

TABLA 5

La solución para este caso, y que nos sirva para el resto y no produzca cambios en las señales en las que esto no ocurre y el resultado es correcto, sería buscar posibles columnas de cero al comienzo de la señal y eliminarlas antes de aplicar la correlación, de este modo sí que obtendríamos el resultado correcto.

Para ello es necesario introducir el siguiente código antes de aplicar la correlación:

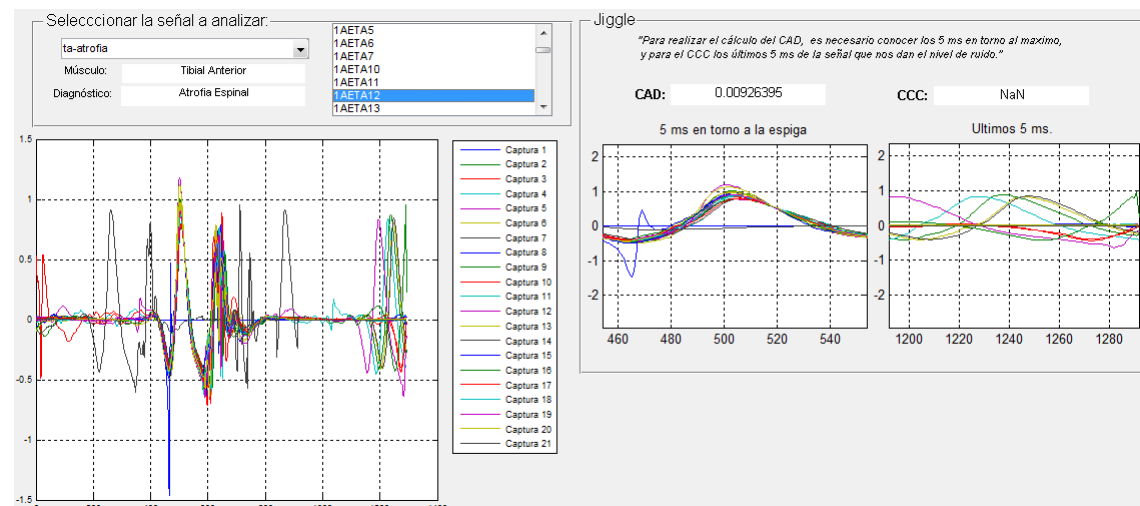
```
w=1:1:n;
column=sum(y(:,w));
[com,col]=find(column==0);
if isempty(col)
    col=1
else
    col=col(length(col))+1;
end
b=corr(y(:,col:1:(n-1)),y(:,(col+1):1:n));
bb=diag(b);
CCC=mean(bb);
```

Con esto lo que hacemos es sumar todos los valores de cada columna de la señal, guardarlos en “column”, y buscar aquellos que la sean igual a cero es decir sean todos cero y guardamos en col, el numero de columna a la que pertenecen.

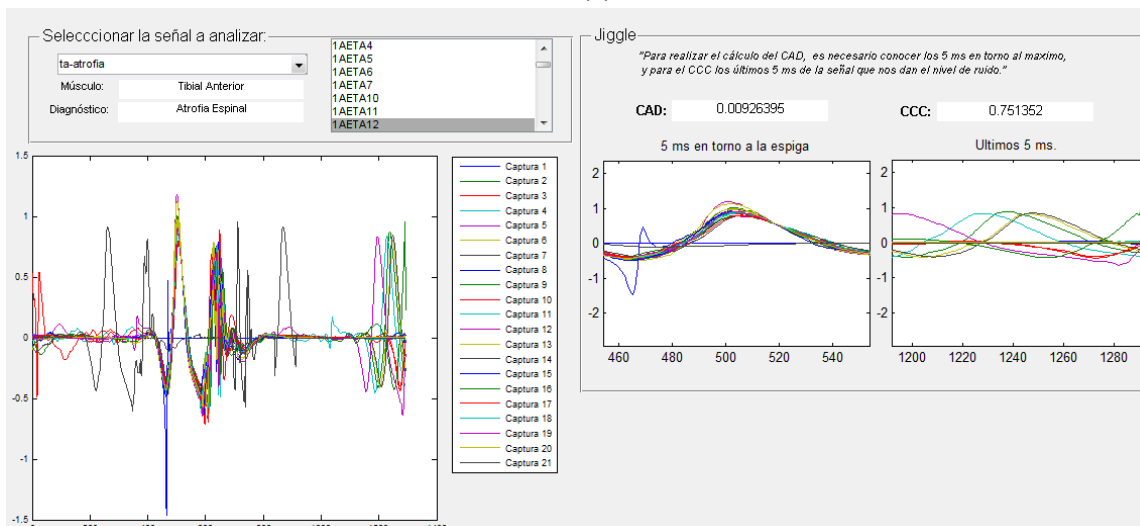
De este modo y existen columnas de todo ceros esta variable tendrá mínimo longitud 1 y si no estará vacía con lo que le daremos el valor 1. Así, si tenemos más de una columna de ceros el ultimo valor de la lista de col pertenecerá a la última columna formada por ceros.

Con este código conseguimos eliminar las posibles primeras columnas de ceros que puedan existir, quedando el resultado con el valor correcto.

En la “Ilustración 23” podemos ver los valores antes y después de modificar el código, quedando verificado que se con esta modificación, ya no vamos a obtener el valor “NaN” para el parámetro CCC.



(a)



(b)

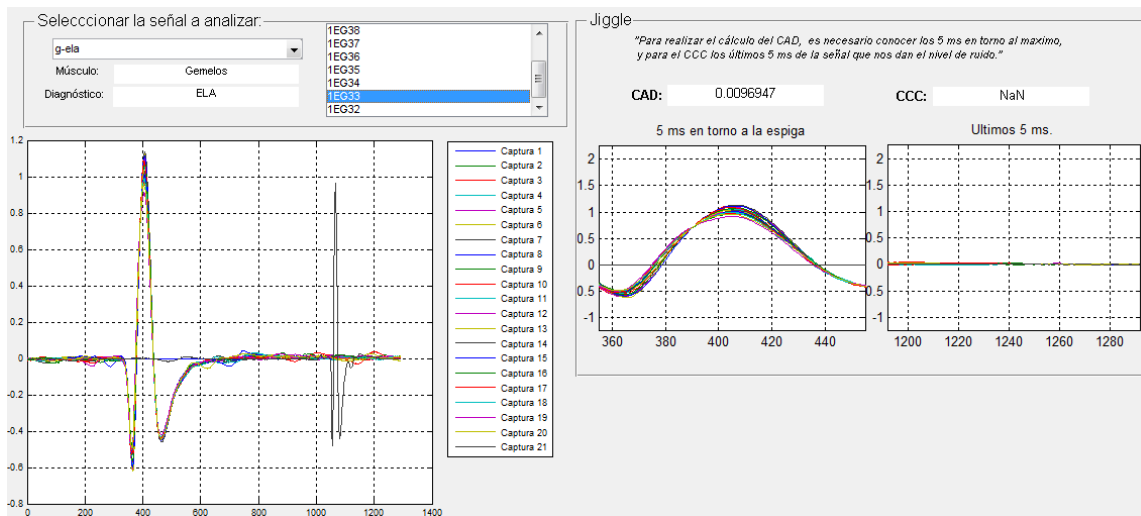
**ILUSTRACIÓN 23:** (a) Datos obtenidos en él para los parámetros CAD y CCC inicialmente con valor erróneo en el CCC.

(b) Resultado correcto para el cálculo del CAD y CCC después de aplicar la corrección de código que elimina posibles columnas iniciales de cero.

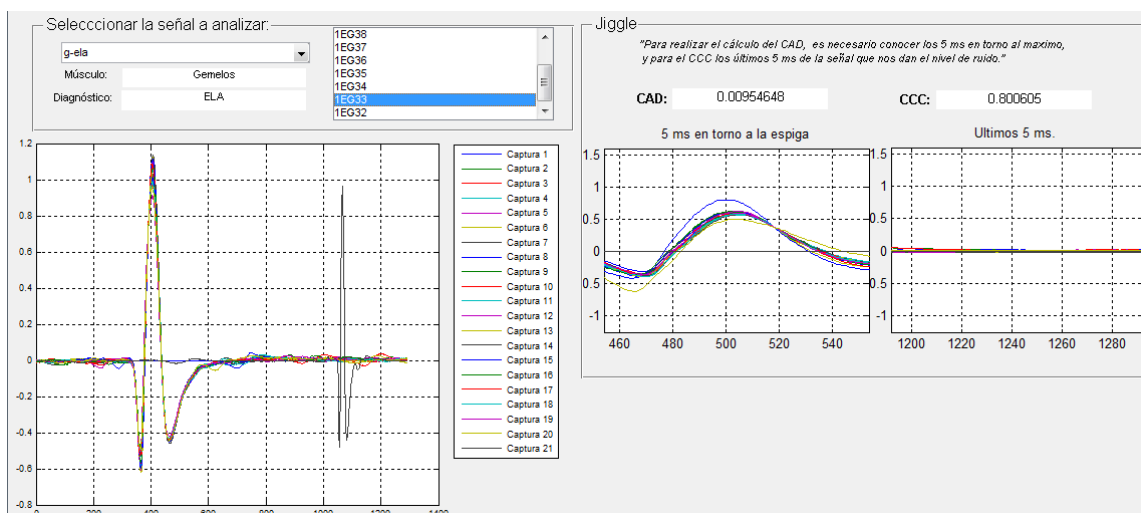
✓ 1EG33.MAT

En este caso la primera columna también está formada toda por ceros luego la solución anterior nos sirve para que el valor obtenido sea el correcto.

Al igual que en el caso anterior en este también se han presentado los datos de la señal antes y después de la corrección en la “Ilustración 24” e “Ilustración 25” respectivamente, viendo el cambio que con ello conseguimos.



**ILUSTRACIÓN 24:** datos obtenidos en la ejecución del cálculo del CAD y CCC en la primera propuesta de código. Vemos que el valor del parámetro CCC no es un valor real, por tanto este cálculo es erróneo.

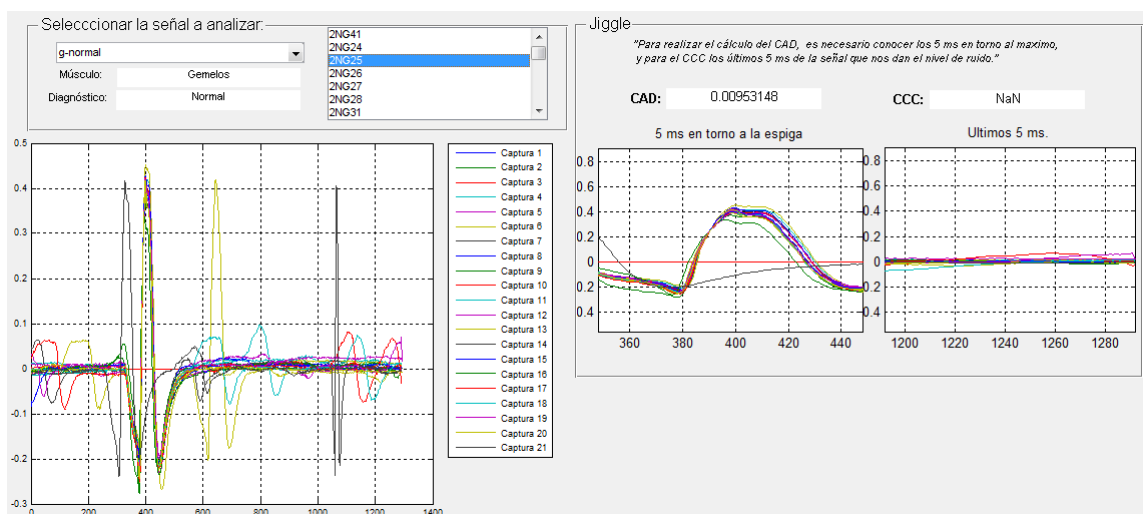


**ILUSTRACIÓN 25:** solución modificada correcta del cálculo del CAD y CCC para la señal “1EG33.mat” en la cual anteriormente el valor obtenido para el CCC nos daba como resultado “NaN”.

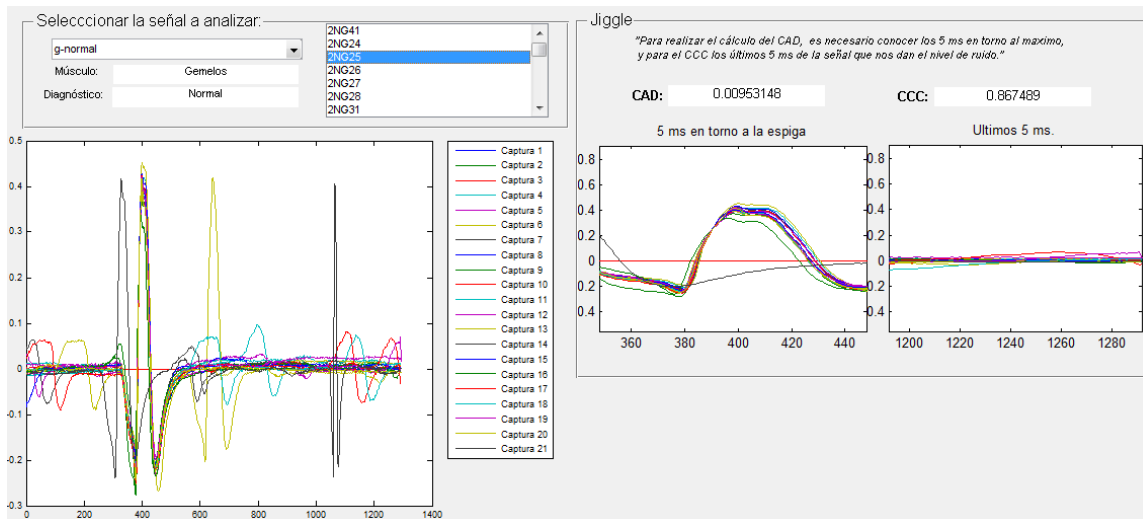
✓ 2NG25.MAT

En este caso las tres primeras columnas también están formadas todas ellas por ceros, luego como hemos modificado el código para posibles casos en los que no solo la primera columna sea cero, sino que varias puedan ser cero, también tenemos solucionado el problema.

El resultado una vez modificado el código se muestra en la “Ilustración 26”, la cual se encuentra a continuación.



(a)



(b)

**ILUSTRACIÓN 26:** resultados del cálculo del CAD y CCC para la señal “2NG25.mat”.

(a) con valor erróneo en el cálculo del CCC.

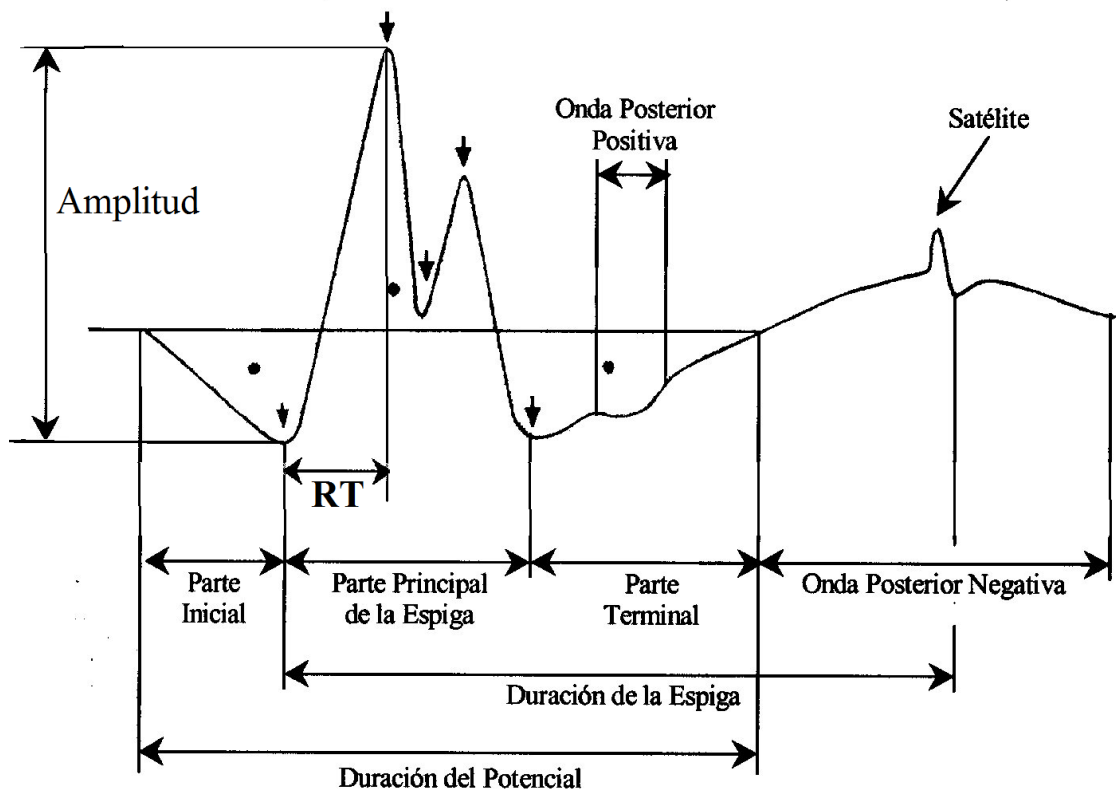
(b) Resultado posterior a la corrección del código para obtener un valor correcto del CCC.

## 3.2. CALCULO DEL NÚMERO DE TURNS

### 3.2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El análisis de *turns* es uno de los métodos de análisis cuantitativo del electromiograma que estudia, en particular, las características del patrón de interferencia. Es uno de los métodos mejor estudiados y de más amplio uso en el análisis automático del patrón de interferencia (PI).

Constituye uno de los métodos más conocidos y utilizados para la cuantificación automática del patrón obtenido de contracciones voluntarias máximas. Este método ha demostrado utilidad en la caracterización electromiográfica con finalidades clínicas e investigativas de grupos de sujetos sanos y enfermos, así como para la evaluación terapéutica en determinados tipos de afecciones.



**ILUSTRACIÓN 27:** Representación esquemática de un potencial de acción de unidad motora, en la cual la se señalan partes fundamentales de un potencial de acción de unidad motora. (los turns se *representan como flechas y las fases como puntos*).

Los *turns* son puntos de cambio en la dirección de la señal EMG, o sea, puntos máximos o mínimos de la señal para los cuales se cumpla que la diferencia de

potencial entre 2 *turns* consecutivos exceda un cierto umbral de amplitud. Este concepto fue introducido y aplicado por primera vez por Willison, utilizando 100 mV como umbral de amplitud. Por otra parte, es necesario señalar que la cantidad de *turns*/segundo depende siempre del umbral de amplitud que se utilice, por lo que se debe tener esto en cuenta si se van a comparar los resultados entre diferentes laboratorios.

Un *turn* en el PI puede estar en relación con:

- ✓ Un pico dentro de un potencial de unidad motora (PUM),
- ✓ Interacciones entre potenciales de unidades motoras (PUMs) superpuestos,
- ✓ Ruido, y
- ✓ Fluctuaciones de la línea de base.

Si se registra con adecuadas condiciones técnicas, el conteo de los *turns* reflejará de manera general el número de PUMs activos, su polifasismo o complejidad y su frecuencia de descarga.

Willison propuso originalmente medir el número de *turns*/segundo y además la amplitud media del PI con una fuerza de contracción fija apropiada para cada músculo en particular bajo estudio.

Algunos trabajos posteriores llevados a cabo por Fuglsang-Friedriksen y colaboradores sugieren que se puede obtener resultados más consistentes utilizando niveles fraccionados de fuerza contráctil, ya que estas variables dependen estrechamente de ella; en general se planteaba que para la utilización de este método era necesario el monitoreo estrecho de la fuerza de contracción muscular.

Stalberg y sus colegas introdujeron el uso de la graficación en forma de nubes de normalidad de los datos obtenidos mediante un análisis de regresión lineal entre pares de variables, a partir de registros obtenidos con diferentes niveles de fuerza contráctil, lo cual constituyó una forma de resolver dicho problema.

Fuglsang-Friedriksen y sus colegas han eliminado la medición de la fuerza de contracción y estiman las variaciones de ésta mediante los cambios en la amplitud media.

Otros investigadores han extendido y modificado el concepto original de Willison al definir parámetros derivados secundariamente: “*upper centile amplitude*” (amplitud de la envolvente), intervalo medio entre *turns* sucesivos, número de *turns* con amplitudes pequeñas, etc.



Se han obtenido fuertes evidencias sobre la validez de estos parámetros en estudios realizados en sujetos sanos y enfermos y en simulaciones computadorizadas del PI. Debido a que las unidades fundamentales del análisis de los turns se definen de forma operacional más que de forma biológica, estos parámetros deben considerarse sólo muy lejanamente relacionados con los aspectos fisiológicos básicos del EMG.

A continuación definiremos las variables o parámetros que más se usan con este método:

- **Turns/segundo.** Representa el número de turns registrados en un período de 1 segundo de registro del EMG. Su conteo estará en relación con las características de los PUMs antes mencionadas.
- **Densidad.** Es el inverso del valor promedio del intervalo entre 2 turns negativos consecutivos (mean interpeak interval) y se expresa en hercios (Hz). Como su nombre indica, proporciona una medida de la densidad del patrón de contracción, de su grado de completamiento y por tanto, del número de PUMs reclutados. Tiene una significación funcional similar a los turns/segundo, de cuya magnitud depende.
- **Amplitud media.** Es la amplitud media de todos los segmentos contenidos en la señal registrada. Se considera segmento a la porción de señal EMG entre 2 turns consecutivos. Se expresa en micro-voltios.
- **UCA.** Representa el valor de amplitud de los potenciales más grandes contenidos en la señal registrada, superada sólo por la amplitud del 1 % de los segmentos. En otras palabras, es aproximadamente la amplitud de la envolvente del trazado, la misma que el electromiografista estima visualmente cuando describe la amplitud del patrón de contracción en el electromiograma convencional. Se expresa en micro-voltios y se mueve de forma similar a la amplitud media.
- **Actividad.** Refleja o cuantifica la presencia de PUMs en el segmento de señal EMG que se analiza o qué proporción del tiempo de señal analizado está ocupado por verdaderos potenciales, a diferencia del resto en que sólo aparece la línea de base. Para esto se toman criterios de duración empíricos de los segmentos entre turns, atendiendo siempre a las características de los PUMs ampliamente conocidas; se asume que aquellos segmentos que excedan este límite no se corresponden con zonas de actividad EMG.

La actividad se correlaciona en cierta medida con los procedimientos convencionales de evaluar el patrón EMG, de forma tal que a un patrón aislado le corresponderán valores de actividad menores que a uno por interferencia. Se expresa en tanto por ciento (%) del total registrado.



- **NSS.** El número de pequeños segmentos (del inglés *number of small segments*) señala cuántos segmentos de la señal analizada no exceden un cierto criterio de amplitud y duración, o sea, cuantifica las pequeñas inflexiones de la señal, los más pequeños segmentos entre turns consecutivos y por lo tanto, refleja la complejidad de los PUMs, su polifasicismo o las melladuras de sus fases.

En sus aplicaciones prácticas a la investigación EMG en sujetos sanos y en enfermos, este método no se basa de forma absoluta en el valor de los parámetros antes descritos sino que emplea además la relación entre combinaciones de dichos parámetros, ilustrados mediante gráficos. De esta forma es posible caracterizar el comportamiento de registros en sujetos sanos y en diferentes enfermedades del aparato neuromuscular.

En primer lugar está la relación turns/amplitud media, que ha sido la más usada en las diversas implementaciones de este tipo de método cuantitativo. Especialmente Stalberg y todos los que ponen en práctica sus métodos utilizan esta relación para distinguir entre 3 grandes grupos: alteraciones miopáticas, alteraciones neurógenas y sujetos sanos.

Otra relación que representa bastante fielmente la diferencia entre estos grandes grupos es actividad/UCA, utilizando en este caso variables más cercanas al análisis de EMG convencional.

Existen otras 2 relaciones que han mostrado también su utilidad en la diferenciación entre grupos de sujetos sanos y con diferentes enfermedades neuromusculares. Estas son: amplitud media/UCA, o sea, la relación entre estas 2 maneras de medir la "amplitud" del patrón de interferencia y la relación turns/NSS, es decir entre todos los turns contados y aquéllos que cumplen con la doble condición de pertenecer a algún PUM y de ser menores que cierto umbral de amplitud.

## CONCLUSIONES

*El método de análisis de turns, ha mostrado ser útil, muy práctico y de amplio uso en las investigaciones EMG aplicadas en sujetos sanos y en diversos grupos de enfermedades del aparato neuromuscular; pues permite hacer diferenciaciones objetivas y confiables entre los registros obtenidos de ellos.*

### 3.2.2. PROGRAMAS REALIZADOS

Para obtener los turns de la señal se ha facilitado la siguiente función:

```
function [mup_turns,turn_sign]=turns(vect_volt,umbral);  
% *****  
% file:      turns.m
```

```
% project: BioPaum v1.0
% owner: 2008 (c) UPNA
% author: Javier Navallas
% *****
% TURNS: [ mup_turns, turn_sign ] = turns ( vect_volt, umbral )
%
% Devuelve en la variable 'mup_turns' las posiciones de los turns que
% hay en 'vect_volt', definido cada turn como cada uno de los picos
% positivos o negativos que presenta la señal.
% Notese que el parámetro número de turns, no es más que
length(mup_turns).
% Salida:
% * mup_turns: posición de los turns del PAUM (i).
% * turn_sign: +1=máximo local / -1=mínimo local.

% Entrada:
% * vect_volt: PAUM a analizar (V).
% * umbral: umbral de detección de las fases (V).
if nargin<2 %si el numero de argumentos de entrada < 2
    umbral=50e-06;
end
if umbral==0
    vect_diff=diff(vect_volt);
    sign_diff=sign(vect_diff);
    mup_turns=(find([sign_diff 0].*[0 sign_diff]==-1))-1;
    turn_sign=sign_diff(mup_turns);
else
    mup_turns=[];
    turn_sign=[];
    %cross=find(abs(vect_volt)>umbral);
    cross=find(abs(vect_volt-vect_volt(1))>umbral);
    if length(cross)==0
        %mup_turns=-1;
mup_turns=0; % Añadido por Mónica.
        fprintf(1,'+ La señal no cruza en umbral de turns\n');
        return
    end
    %pro_turn=cross(1);
    %signum=sign(vect_volt(pro_turn));
    pro_turn=0;
    signum=sign(vect_volt(cross(1))-vect_volt(1));
    %mup_turns=0;
    %turn_sign=-signum;
    %medium=vect_volt(pro_turn);
    medium=vect_volt(cross(1));
    maximum=medium+umbral;
    minimum=medium-umbral;
    for i=pro_turn+1:length(vect_volt)
        next=vect_volt(i);
        if ((signum==1)&(next<medium)) | ((signum==-1)&(next>medium))
            pro_turn=i-1;
            medium=next;
            maximum=next+umbral;
            minimum=next-umbral;
        elseif ((signum==1)&(next>maximum)) | ((signum==-1)&(next<minimum))
            mup_turns=[mup_turns pro_turn];
            turn_sign=[turn_sign -signum];
            pro_turn=i-1;
            signum=-signum;
            medium=next;
```

```

        maximum=next+umbral;
        minimum=next-umbral;
    end
end
end
mup_turns=[mup_turns length(vect_volt)-1]+1;
turn_sign=[turn_sign -turn_sign(end)];

```

Esta función tiene como parámetros de entrada, la señal de la cual se quieren conocer los turns y el umbral que se quiere utilizar para la búsqueda de estos turns, y como parámetros de salida obtenemos un array con las posiciones donde se encuentran los turns en la señal y el signo de estos turns, es decir, si el cambio de pendiente es hacia positivo o negativo. A continuación vamos a explicar de forma detallada cada uno de los pasos que realiza esta función.

En primer lugar mira si se han introducido como parámetros de entrada 2 valores, la señal y el umbral, la función de Matlab que identifica esto es "nargin".

If nargin<2      ≡      Si el numero de parámetros de entrada es menor que dos, lo que supone que el parámetro que no se ha introducido es el umbral y no la señal, entonces como valor por defecto del umbral 50-e06.

Una vez ya conoce si el usuario a ha introducido el umbral o no. Verifica si esto es cero, si es así realiza las siguientes operaciones:

vect\_volt=

1	2	3	4	5	...	N-3	N-2	N-1	N
					...				

1) Guarda en "vect\_diff" la diferencia de puntos consecutivos de la señal "vect\_volt" (señal de entrada de la cual queremos conocer los turns). Este vector tiene la dimensión de "vect\_volt" -1.

Vect\_volt=

1	2	3	4	5	...	N-2	N-1	N
					...			

-

Vect\_volt=

	1	2	3	4	...	N-3	N-2	N-1	N
					...				

---

vect\_diff=

					...				
--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--

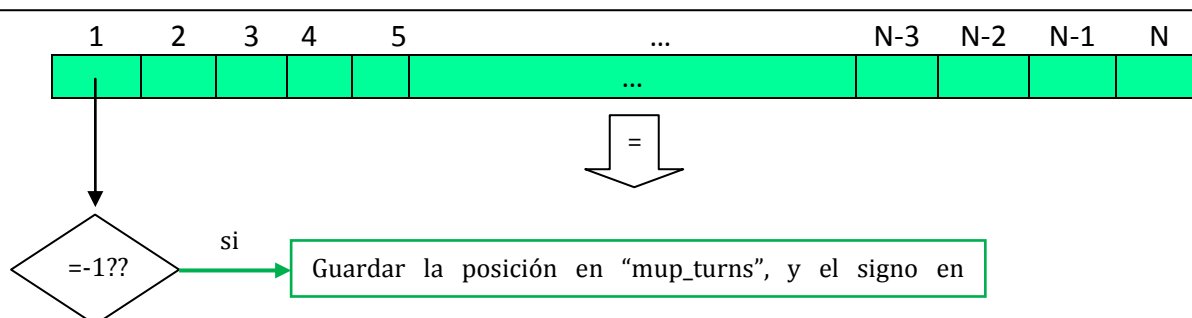
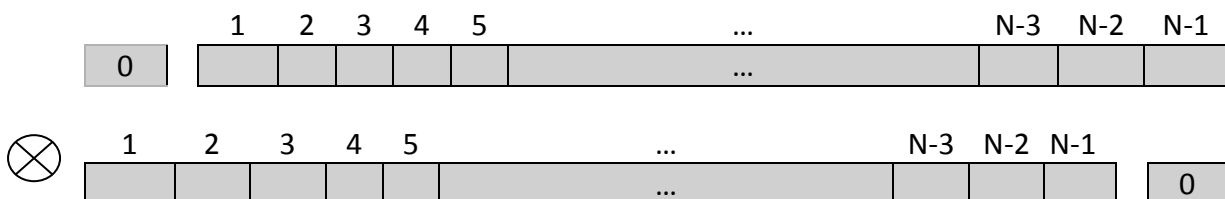
2) En el siguiente paso, almacena en "sign\_diff" el signo de las diferencias que han quedado almacenadas en "vect\_diff", es decir, guarda menos uno si la diferencia

entre valores consecutivos es negativa, mas uno si la diferencia entre valores consecutivos es positiva y cero no existe diferencia entre valores consecutivos.

Sign_diff	<0	>0	=0
vect_diff(i)	-1	+1	0



- 3) Con el vector obtenido anteriormente (“sign\_diff”), hacemos dos copias “virtuales”, una añadiendo un cero al comienzo del vector y otra en la que añadimos un cero al final del vector. Posteriormente multiplicamos punto a punto estos vectores, guardamos la posición menos uno, donde encontramos que dicha multiplicación ha dado como resultado menos uno, ya que como hemos introducido un elemento de mas en cada una de las listas, la posición real en el vector de entrada donde existe el cambio, esta una antes. Esto quiere decir que hemos guardado las posiciones donde se ha encontrado un cambio de sentido (un cambio de signo entre valores consecutivos), ya que solo si multiplicamos  $(-1)*1=-1$  o viceversa, nos da este resultado. Este vector tendrá la misma dimensión que el vector de entrada “vect\_volt”.



Si el umbral que se ha introducido no se cero, entonces el proceso seguido es el siguiente:

- 1) Creamos dos listas vacías llamadas “mup\_turns” y “turn\_sign”.
- 2) Restamos a toda la lista de “vect\_volt” el primer valor de dicha lista, le quitamos el signo y buscamos en los datos obtenidos aquellos que cumplan que son mayores que el valor del umbral introducido y guardamos en el vector “cross” las posiciones de los valores que cumplen esto.
- 3) A continuación comprobamos que se han encontrado valores que cumplen la restricción anteriormente mencionada y si no es así ( $\text{length}(\text{cross})==0$ ), emitimos un mensaje al usuario:

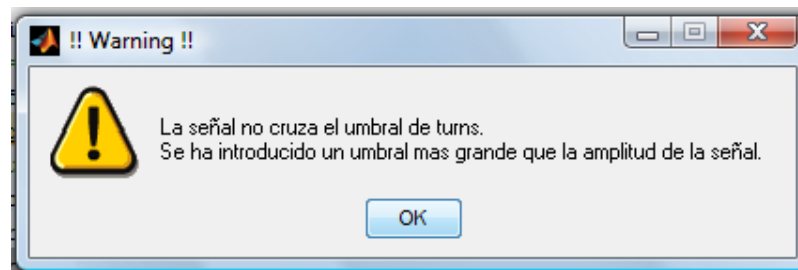


ILUSTRACIÓN 28: Mensaje que nos avisa que no existen turns para el umbral propuesto.

Y salimos de la función.

- 4) Si se han encontrado valores que cumplen la restricción, inicializa la variable “pro\_turn” a 0, donde guardaremos el valor de “vect\_volt (i)” hasta encontrar que es un punto de inflexión anterior al que nos encontramos.
- 5) El siguiente valor que guardamos es el “signum”, que identifica si el primer cambio de signo se corresponde con una subida o bajada de la señal.
- 6) Al primer valor de “vect\_volt” que encontramos en la lista “cross” (es decir el primero en el que encontramos un cambio de signo) le llamaremos médium, y a este más/ menos el umbral maximun y mínimum respectivamente.
- 7) Una vez inicializadas estas variables recorreremos la lista de “vect\_volt” (comenzando en el segundo valor).
- 8) Llamamos “next” al valor siguiente a médium y comprobamos si, “signum” es positivo y el valor next es menor que médium, o si “signum” es negativo y el valor de next es mayor que médium, en este caso como no encontramos una inflexión reasignamos los valores a “pro\_turn”, “médium”, “maximun” y “mínimum”, en caso contrario, que la tendencia de la señal sea creciente ( $\text{signum}==1$ ) y el valor de next sea mayor que el médium, o que la tendencia de la señal sea decreciente y el valor de next sea menor que médium, o lo que es lo mismo encontremos un cambio de pendiente en la señal, lo que hacemos es

guardar en “mup\_turns” la concatenación de lo que antes contenía este con “pro\_turn” y en “turn\_sign” la concatenación de este con “signum”, o reasignamos valores a “por\_turn”, “signum”, “médium”, “maximun” y “minimun”.

- 9) Finalmente guardamos en mup\_turns una lista de valores que contiene los mup\_turns encontrados anteriormente junto con la longitud de vect\_volt, y a toda esta lista le sumamos uno. Además de guardar en turn\_sing, este mismo añadiendo también el turn\_sing del último valor de la señal cambiado de signo.

Con la ayuda de la función anterior, localizaremos los turns de cada captura de cada señal, para poder hacer un estudio de la variación de turns en función del umbral que introduzcamos.

Para poder hacer este estudio es necesario conocer los umbrales posibles que pueden darse o no, ya que también podemos introducir una lista de valores que contenga todos los umbrales que puedan darse y mas, para que el estudio sea más exhaustivo.

Para la obtención de los umbrales que pueden darse en cada captura nos ayudaremos de parte del código de la función “turns()”:

```
ya=arch(inic:final,:);
% -----CALCULO DE UMBRALES-----
ym=mean(ya,2);
ym=transpose(ym); % Seleccionamos la primera captura del potencial.
vect_diff=diff(ym); % Calculamos las diferencias entre ptos
                    consecutivos
sign_diff=sign(vect_diff); % Guardamos el signo de cada diferencia
mup_turns=(find([sign_diff 0].*[0 sign_diff]==-1))-1; % Buscamos las
                                                    posiciones donde se produce un
                                                    cambio de pendiente.

umbrales=diff(ym(mup_turns));
umbrales_sin_rep=Eliminar_repetidos(abs(umbrales),-4);
maxdiff=max(max(ya))+abs(min(min(ya)));
no=find(umbrales_sin_rep>maxdiff);

if not isempty(no)
    umbrales_sin_rep=umbrales_sin_rep(1:1:no(length(no)));
end
if umbrales_sin_rep(length(umbrales_sin_rep))==0;
ceros=find(umbrales_sin_rep==0);
end

umbrales_sin_rep=umbrales_sin_rep(find(umbrales_sin_rep>0));
umbrales_sin_rep=umbrales_sin_rep(find(umbrales_sin_rep<maxdiff));
% -----
```

Con este código, lo que hacemos es coger la señal recortada, ya que los turns que puedan encontrarse en el comienzo y final de la señal pueden pertenecer a ruido y no

nos interesan. En este caso buscamos los umbrales generales para todas las capturas, es decir una lista de umbrales que será general para todas las capturas. Para calcular esta lista, calcularemos la media de todas las capturas recortadas y de ahí buscaremos los posibles umbrales con el código que hemos cogido de la función turns correspondiente a las cinco primeras líneas de código de este apartado, de donde sacamos los posibles puntos de inflexión que existan y su amplitud los redondeamos a tres decimales, ordenamos en orden creciente, eliminamos posibles valores repetidos, y calculamos los turns correspondientes.

Otro proceso que también hemos seguido y más tarde veremos cual nos es más beneficioso, es crear una lista de valores que vaya desde 0.0001 hasta el valor de la diferencia entre puntos de inflexión consecutivos máximo, siendo el incremento variable dependiendo del número de decimales, ya que si ponemos un incremento fijo de 0.0001, el numero de datos a procesar será muy grande y no habría eficiencia en el proceso.

```
for k=1:n;
    vect_volt=transpose(ya(:,k));
    fin=max(max(ya))-min(min(ya));
    umbrales=[0.0001:0.0001:0.001 0.002:0.001:0.01 0.02:0.01:0.1 ...
              0.1:0.05:fin];
    num_turns=zeros(1,length(umbrales));
    for i=1:length(umbrales);
        mup_turns=[]; turn_sign=[];
        [mup_turns,turn_sign]=turns(vect_volt,umbrales(i));
        if length(mup_turns)==1 & mup_turns(1)==0
            num_turns(i)=0;
        else
            num_turns(i)=length(mup_turns);
        end
        num_turns_m2(i,k)=num_turns(i);
    end
end
```

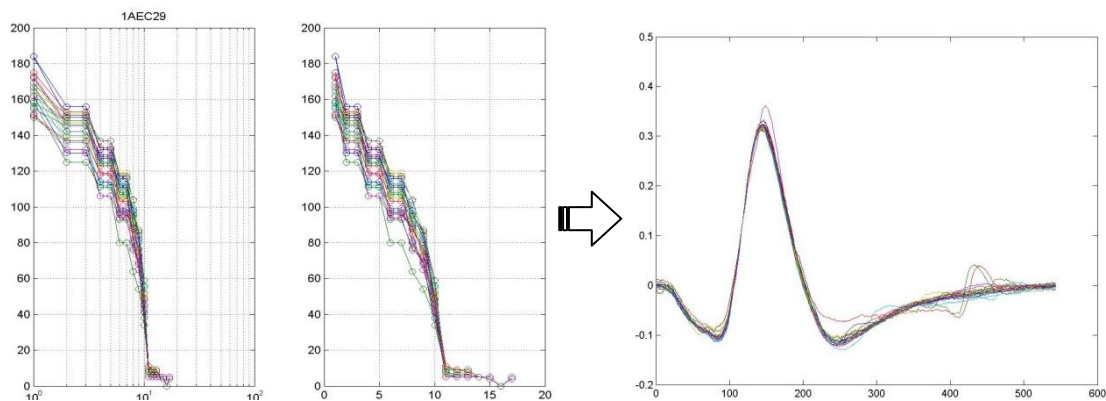
### 3.2.3. RESULTADOS OBTENIDOS

Podemos llegar a la decisión de que los casos posibles que vamos a poder encontrar al realizar este estudio van a ser los siguientes:

- ✓ La caída del número de turns sigue un patrón para todas las capturas correspondientes a la señal (esto se da en casi todos los ejemplos).
- ✓ Comienzo repetitivo del número de turns para los umbrales más pequeños.
- ✓ Cambio muy marcado/moderado entre el número de turns correspondientes a umbrales consecutivos.
- ✓ Tener un gran número de umbrales diferentes en la señal.
- ✓ No tener casi umbrales en la señal.

En algunos casos encontramos muchos puntos de inflexión, ya que corresponden a señales donde hay bastante variabilidad y en otras señales donde tenemos muy poca variabilidad, tenemos muy pocos puntos de inflexión. Esto ocurre por el hecho de calcular los puntos de inflexión a partir de la media de la señal de estudio en cuestión.

De este modo las graficas que se generan de forma general tienen apariencia de exponencial decreciente, como se puede observar en las imágenes mostradas en los ejemplos que se dan a continuación. Donde se ha intentado representar la mayoría de los casos posibles en la representación dependiendo del tipo de señal que se esté estudiando.



**ILUSTRACIÓN 29:** graficas de la variación del número de turns en función de los umbrales en escala logarítmica y lineal correspondiente a la señal “1AEC29.mat”, representada a la izquierda de estas.

En la “Ilustración 29” correspondiente al archivo “1AEC29.mat”, vemos que la señal recortada no parece tener muchas inflexiones, lo que nos hace pensar que obtengamos pocos umbrales de la selección, pero con el resultado vemos que no son tan pocos eso sí, no se repite el número de umbrales para casi ninguno más de dos veces.

De la media de la señal recortada desde los 10 ms hasta aproximadamente los 30 ms (ver “Ilustración 30”) vemos que la señal no tiene muchos cambios de pendiente, claro está que esto es la media y que para cada captura la situación va a ser particular. Por tanto el número de turns para evaluar va a ser una lista que no contiene gran cantidad de valores.



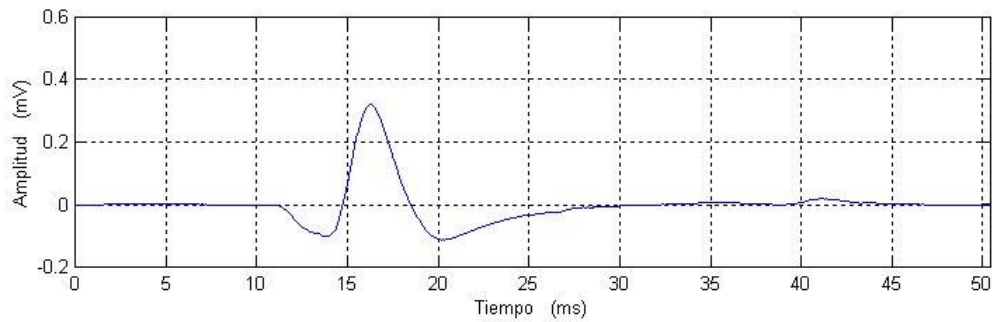
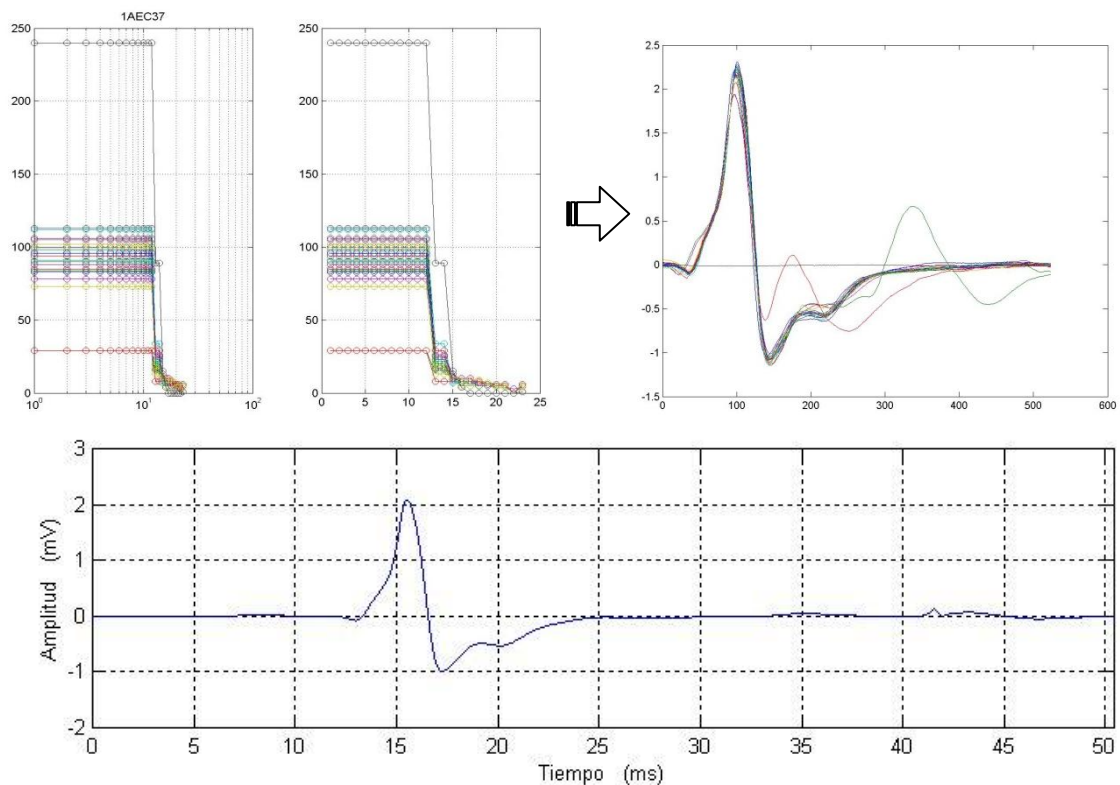


ILUSTRACIÓN 30: media de las capturas de la señal “1AEC29.mat”.

En el caso de la siguiente señal “Ilustración 31”, tenemos que para gran parte los umbrales más pequeños que se han seleccionado para la evaluación, el número de turns obtenido es el mismo, es decir los umbrales son tan pequeños que se están seleccionando todos los puntos de inflexión contenidos en la señal.

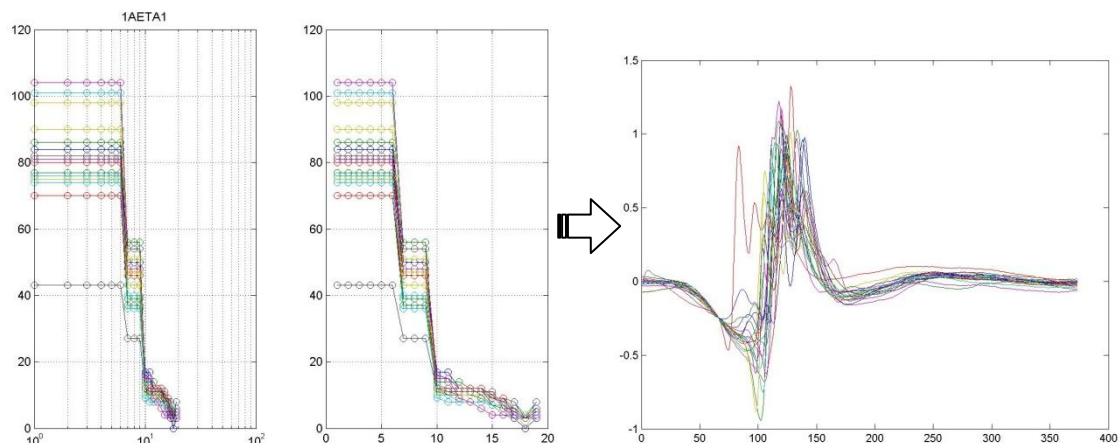
También podemos observar que no es una señal con muchas perturbaciones por lo que el cambio de número de turns entre algunos valores va a ser muy grande como se apreciar.



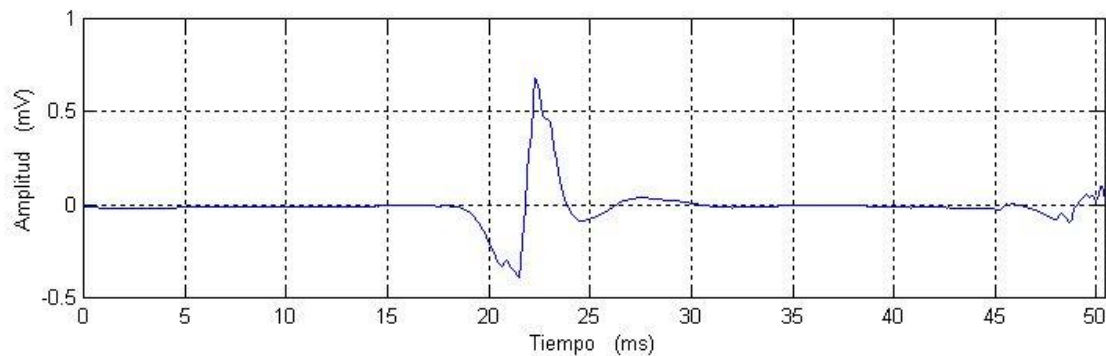
**ILUSTRACIÓN 31:** gráficas en escala logarítmica y lineal del número de turns en función del número de turns en función del umbral de la señal “1AEC37.mat”, la cual queda representada a la derecha de estas y debajo la media de todas las capturas.

El ejemplo siguiente (“Ilustración 32”), corresponde a una señal donde vemos que las capturas en el rango de tiempo donde se produce el máximo de la señal, son muy diferentes. Con esto pensaríamos que el número de turns correspondiente a cada captura va a ser diferente pero al ver el resultado, no es así, ya que todas ellas siguen el mismo patrón aunque están desfasadas las unas de las otras.

Este hecho no es visible si solo miramos la media de la señal (“Ilustración 33”), ya que esta no es una representación fiel del patrón general de las capturas.



**ILUSTRACIÓN 32:** gráfica de la caída del número de turns en escala logarítmica en el primer grafico y escala lineal en el segundo, junto con la señal representada a continuación con ellas la cual es la señal “1AETA1.mat”.

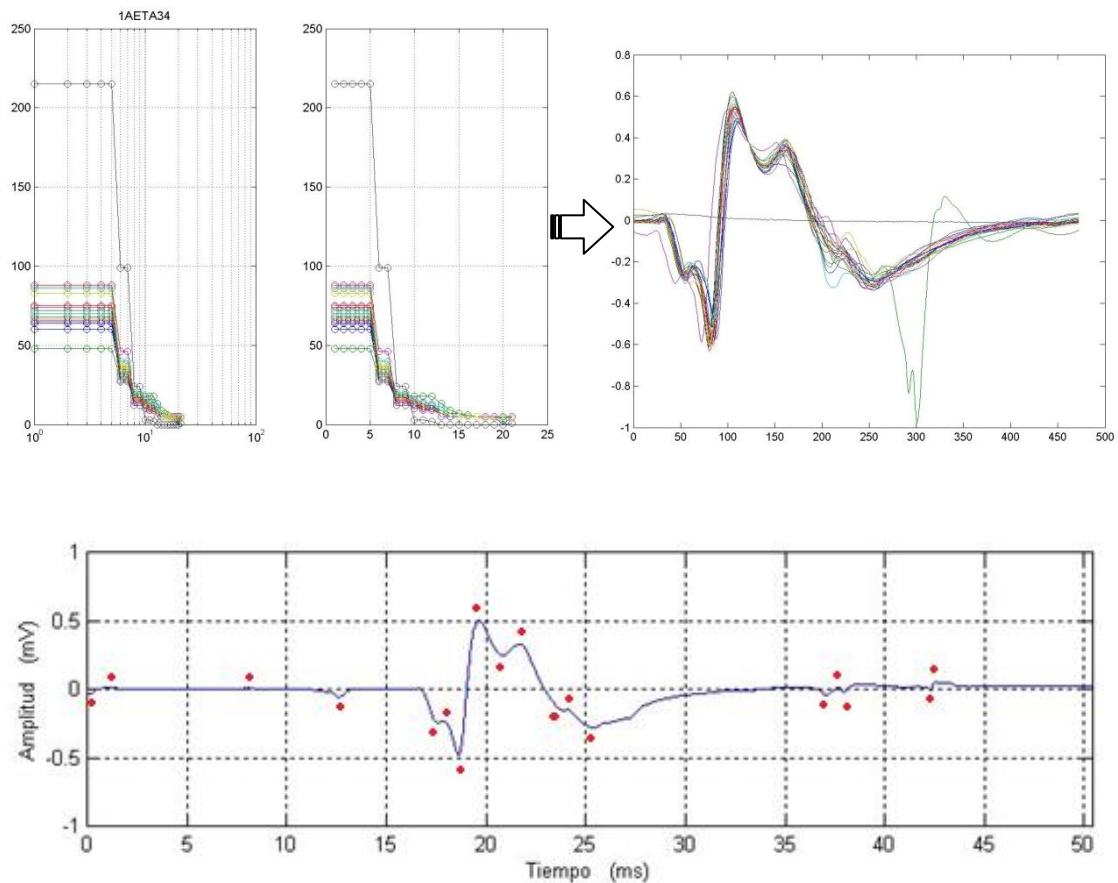


**ILUSTRACIÓN 33:** media de las capturas de la señal de estudio de la caída del número de turns anterior, que corresponde con la señal “1AETA1.mat”

En el siguiente caso donde tenemos varios picos de diferentes amplitudes, lo que crea distintos puntos de inflexión (umbrales), vemos que en la representación del número de turns en función de los umbrales hay muchos puntos correspondientes a valores diferentes, con cambios bruscos.

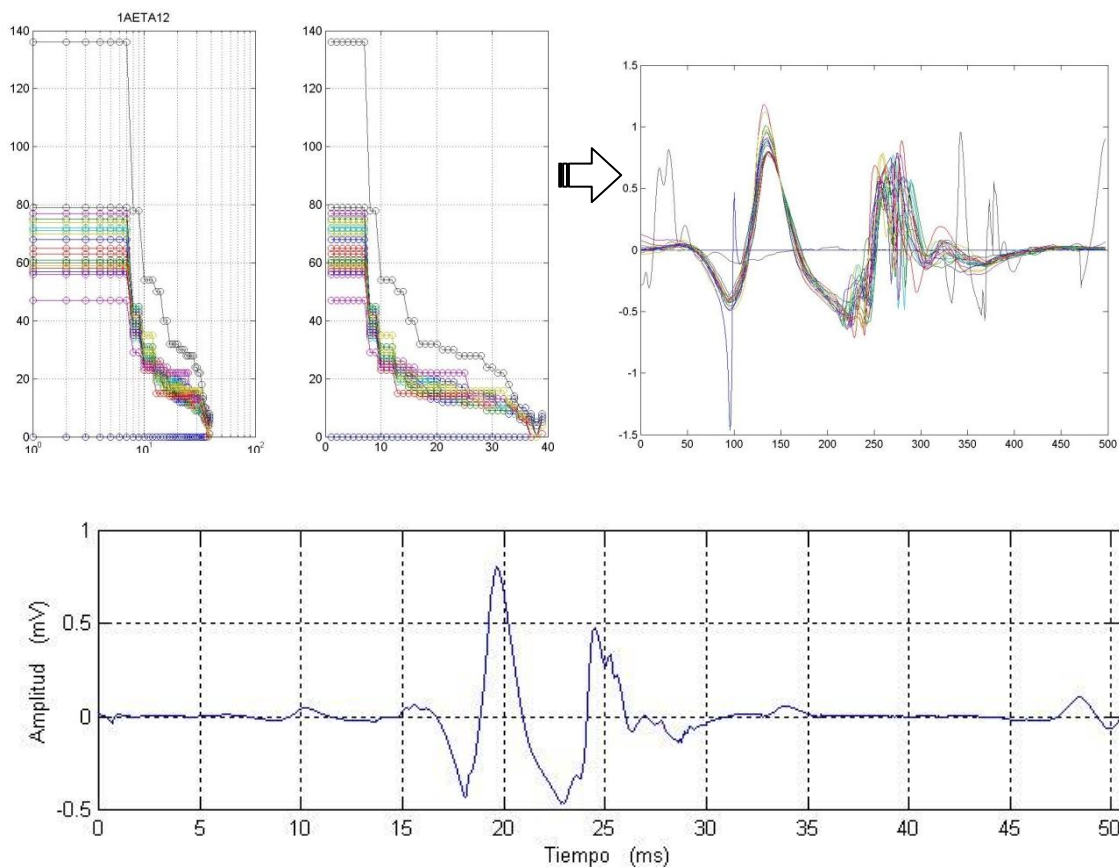
Esto puede apreciarse en la grafica de la media de la señal conjunta de la “Ilustración 34”, donde pueden apreciarse muchas turbulencias en la señal, estas se corresponden a algunos de los puntos marcados en rojo en la grafica de la media de la señal.

En esta señal se ve claramente la caída en forma exponencial del valor de número de turns, sobre todo si nos fijamos en la representación con el eje x en escala logarítmica.



**ILUSTRACIÓN 34:** curva de la caída del numero de turns de la señal “1AETA34.mat” en el primer caso la escala del eje x esta en escala logarítmica, en el segundo la escala del eje x es lineal, seguidamente se representa la señal recortada en estudio y debajo la media de las capturas dibujados sobre ella con puntos rojos las situaciones de los turns.

En la señal siguiente (“Ilustración 35”) ocurre exactamente lo mismo que en la anterior. La señal elegida también posee varios picos y muchos puntos de inflexión lo que nos lleva a hacer una evaluación de muchos umbrales para obtener una representación fiel de la variación del número de turns en función de los umbrales seleccionados, en este caso grafico, umbrales obtenidos de la búsqueda en cada una de las capturas.



**ILUSTRACIÓN 35:** curva de la caída del numero de turns de la señal “1AETA12.mat” en el primer caso la escala del eje x esta en escala logarítmica, en el segundo la escala del eje x es lineal, seguidamente se representa la señal recortada en estudio y debajo la media de las capturas dibujados sobre ella con puntos rojos las situaciones de los turns.

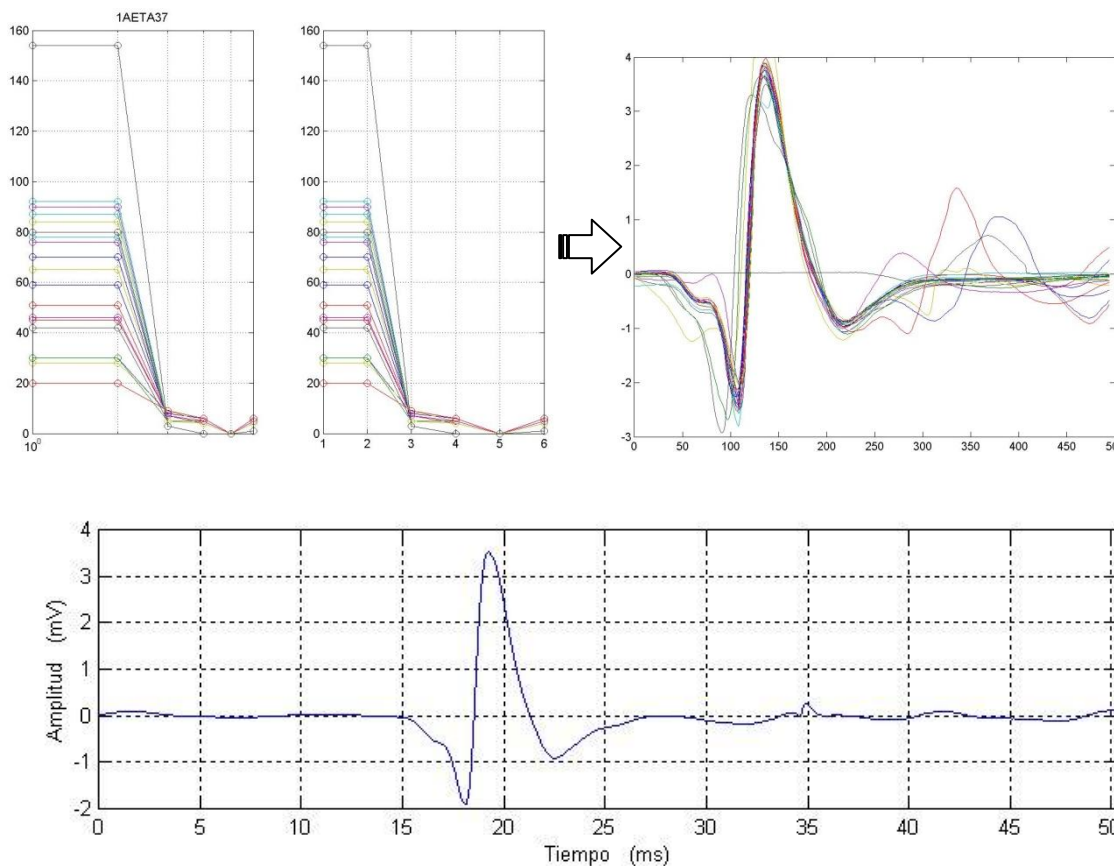
### Conclusión:

*Para señales donde tenemos muchos puntos de inflexión, de los cuales la diferencia entre puntos consecutivos (correspondientes a los umbrales) es diferente, la curva de la caída del número de turns en función del umbral, es de forma exponencial.*

En los siguientes ejemplos “Ilustración 36” e “Ilustración 37”, hemos escogido unas señales donde no se han detectado en la búsqueda de la media de la señal muchos umbrales, esto se debe a que aunque las capturas no sean muy iguales entre sí, la media de la señal no posee muchos cambios bruscos de diferentes amplitudes, por lo tanto el numero de turns escogidos son pocos.

De las dos señales en la primera (“Ilustración 36”), las curvas representadas son más o menos iguales al comienzo, ya que parece que el número de turns totales de las capturas sigue el mismo patrón.

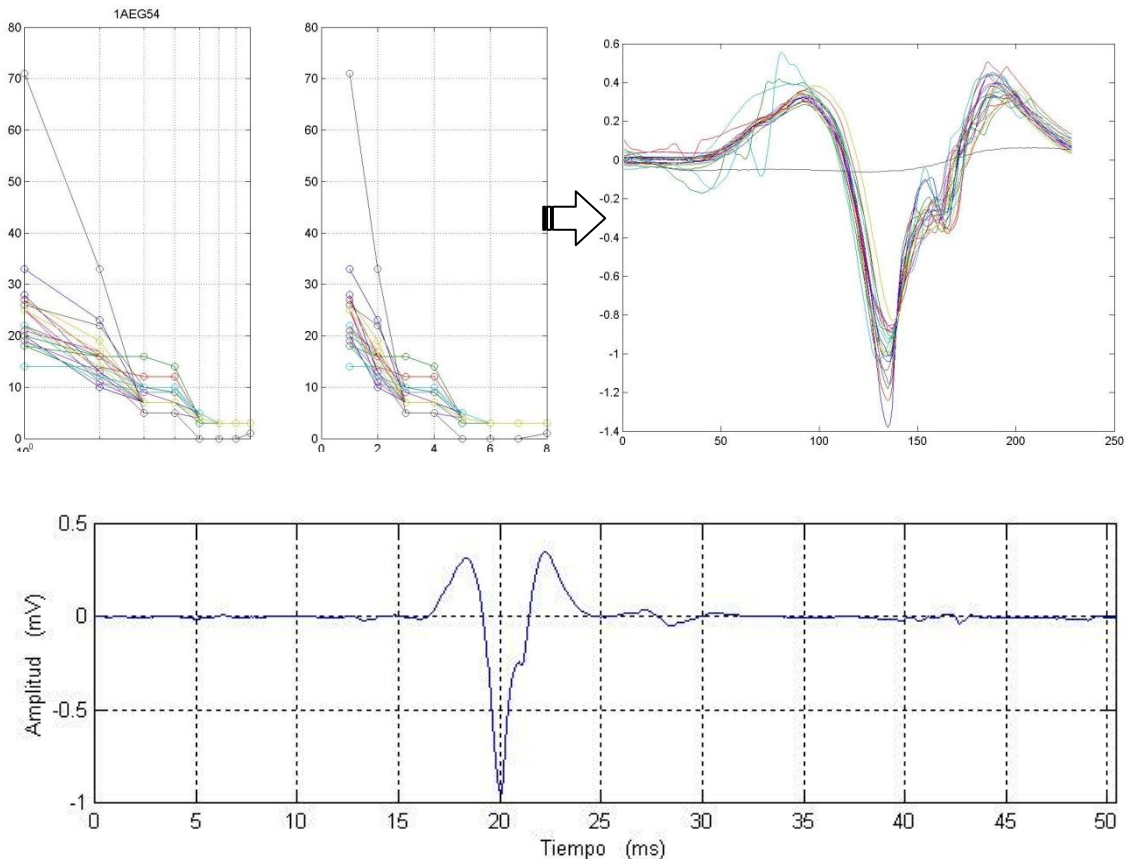
En la “Ilustración 36” podemos deducir que es una imagen donde hay muy poca perturbación proveniente de ruido, ya que no tenemos muchos puntos al inicio donde el número de turns es muy grande y parecido.



**ILUSTRACIÓN 36:** curva de la caída del numero de turns de la señal “1AETA347.mat” en el primer caso la escala del eje x esta en escala logarítmica, en el segundo la escala del eje x es lineal, seguidamente se representa la señal recortada en estudio y debajo la media de las capturas dibujados sobre ella con puntos rojos las situaciones de los turns.



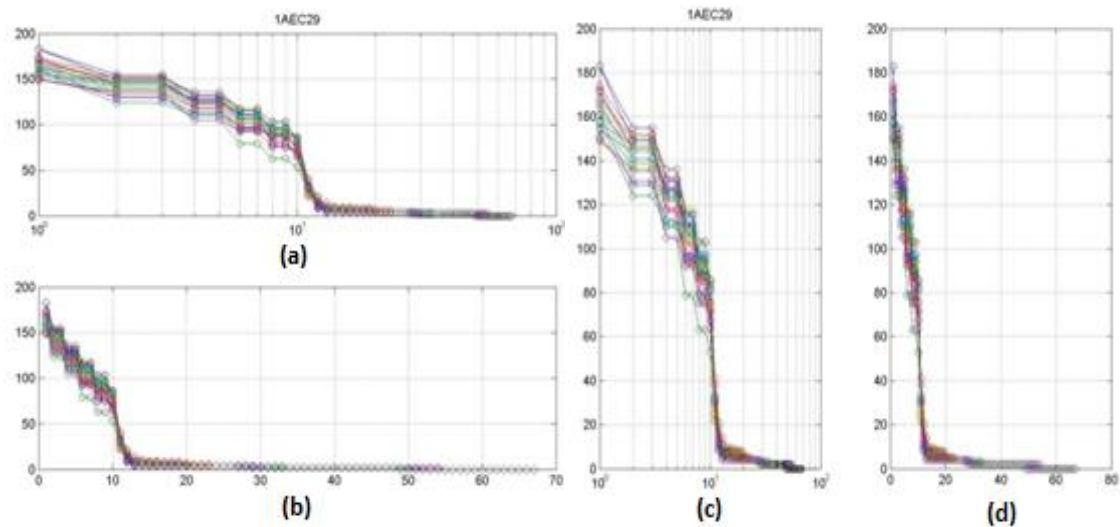
De otro modo en el segundo ejemplo (“Ilustración 37”), las capturas son tan diferentes entre sí que la curva correspondiente a cada una de ellas, es totalmente diferente.



**ILUSTRACIÓN 37:** curva de la caída del numero de turns de la señal “1AEG54.mat” en el primer caso la escala del eje x esta en escala logarítmica, en el segundo la escala del eje x es lineal, seguidamente se representa la señal recortada en estudio y debajo la media de las capturas dibujados sobre ella con puntos rojos las situaciones de los turns.

Queda claro que para un umbral muy pequeño el numero de turns va a ser muy grande ya que cogerá todas aquellas pequeñas inflexiones que pertenecen a posible ruido proveniente de agentes ajenos (aparato de medición,...), según se va a aumentando el umbral el numero de turns decrece muy rápido al comienzo y muy lento conforme se acerca al umbral máximo, que estará cercano a la amplitud correspondiente a la espiga para la mayoría de los casos.

En cuanto a los resultados de las mismas señales pero considerando una lista de valores predeterminada para los umbrales y no la búsqueda de valores posibles que puedan darse, como se ha explicado en el apartado de programas realizados, los resultados gráficos obtenidos para cada señal, son los siguientes:



**ILUSTRACIÓN 38:** Señal “1AEC29.mat”.

(a) curva de la caída del número de turns con el eje x en escala logarítmica vista apaisada.

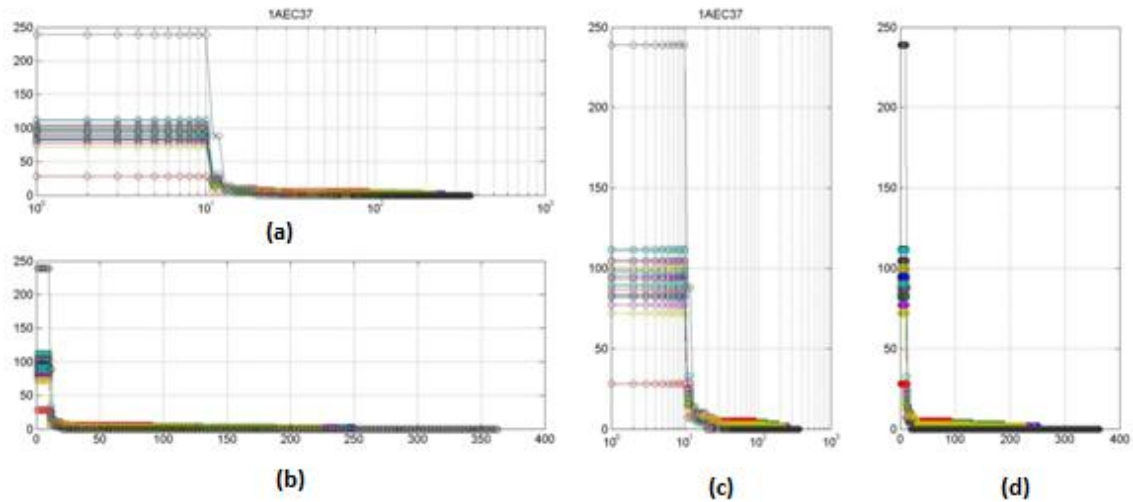
(b) curva de caída del número de turns, eje x en escala lineal, representación apaisada.

(c) curva de caída del número de turns, eje x en escala logarítmica, vista vertical.

(d) curva de caída del número de turns eje x escala lineal, vista vertical.

En la grafica (d) se observa claramente que la representación se acerca a una caída exponencial.

En este caso (“Ilustración 38”) la diferencia entre escoger los posibles valores de umbrales o introducir una lista predeterminada no cambia mucho la situación, ya que el comienzo viene a ser el mismo, el número de turns para los dos primeros umbrales es diferente, aunque tenemos una mayor resolución (mas cantidad de datos estudiados) en la curva, donde el número de turns cambia de manera más lenta ya que se están llegando al límite.



**ILUSTRACIÓN 39:** Señal “1AEC37.mat”.

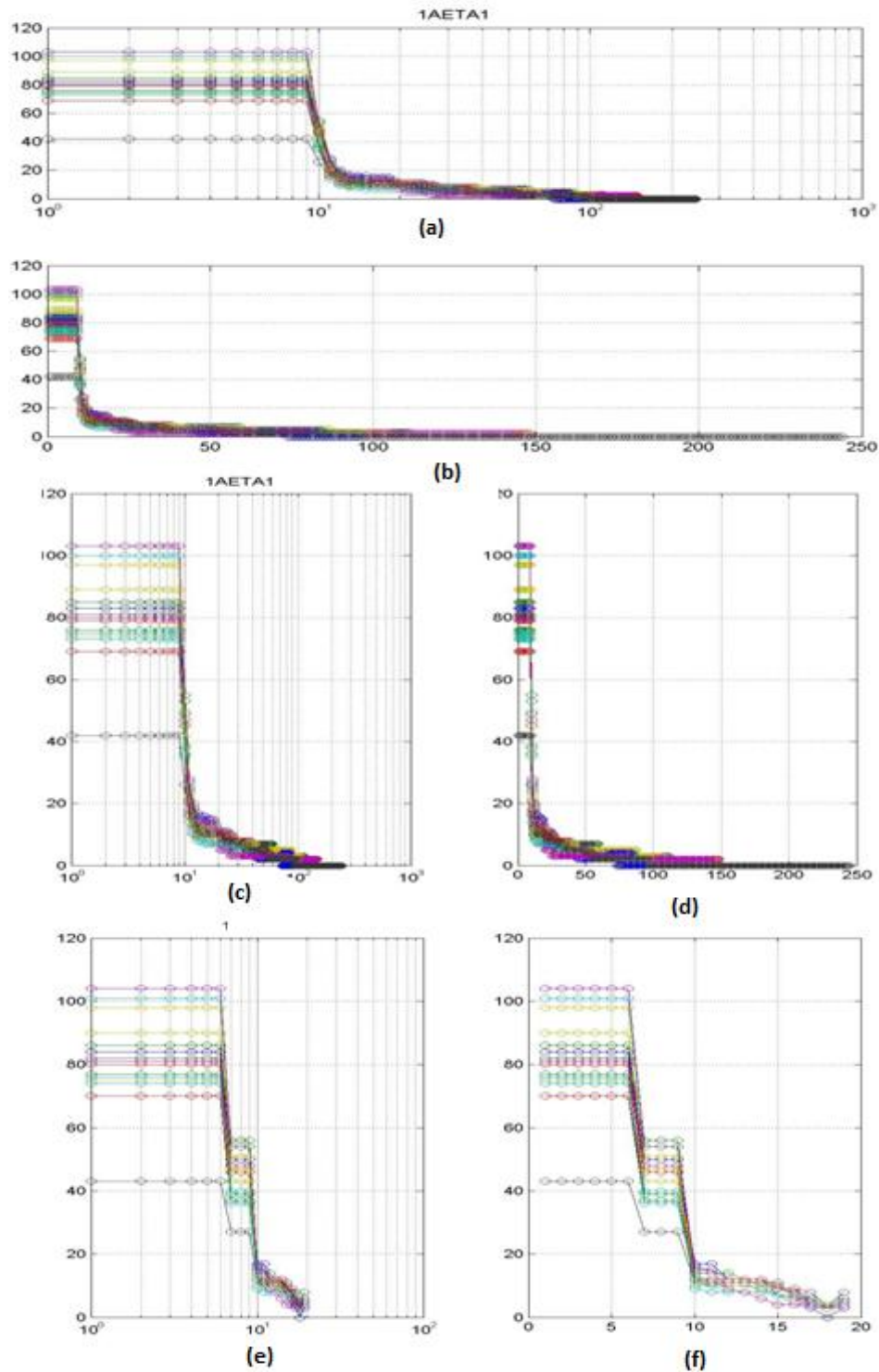
- (a) curva de la caída del número de turns con el eje x en escala logarítmica vista apaisada.
- (b) curva de caída del número de turns, eje x en escala lineal, representación apaisada.
- (c) curva de caída del número de turns, eje x en escala logarítmica, vista vertical.
- (d) curva de caída del número de turns eje x escala lineal, vista vertical.

En la gráfica (d) se observa claramente que la representación se acerca a una caída exponencial.

Para este ejemplo (“Ilustración 39”) la diferencia tampoco es muy grande en el comienzo donde el número de turns se mantiene estable durante un rango de umbrales y luego decae. La resolución en el centro de la señal es mayor, hay más umbrales evaluados.

En este caso se aprecia que al haber más puntos la forma de la caída del número de turns en función del umbral es aún más cercana a una exponencial.





**ILUSTRACIÓN 40:** Señal “1AETA1.mat”.

(a) Curva de la caída del número de turns con el eje x en escala logarítmica vista apaisada.

(b) Curva de caída del numero de turns, eje x en escala línea, representación apaisada.

(c) Curva de caída del número de turns, eje x en escala logarítmica, vista vertical.

(d) Curva de caída del número de turns eje x escala lineal, vista vertical.

(e) Curva de caída del número de turns escala x logarítmica.

(f) Curva de caída del número de turns escala x lineal. En (e) y (f) los umbrales utilizados para la representación se han buscado haciendo uso de parte del código de la función turns, en los casos anteriores los umbrales son una lista de valores predeterminados.

En la grafica (d) se observa claramente que la representación se acerca a una caída exponencial.

Para este ejemplo (“Ilustración 40”) sí que encontramos un mayor cambio en la curva de caída, por ello hemos presentado gráficamente la respuesta anterior para poder comparar visualmente, los cambios que se producen al cambiar los valores de la lista de umbrales a evaluar.

- En ambos casos al comienzo el número de turns es igual para varios valores de diferentes umbrales.
- En el caso anterior la primera caída de turns era muy significativa, hecho que en el actual no se aprecia de la misma manera. Si vemos las listas de los turns para cada uno de los casos veremos que se debe a que la diferencia entre esos umbrales en el primer caso era bastante grande, con lo que omitíamos algunos umbrales que pueden darnos información.

Umbrales seleccionados según la amplitud entre puntos de inflexión consecutivos encontrados:

0,00010 0.0002 0,00030 0.0005 0,00070 0.0004 0,00110 0.0116 0,01270 0.0214 0,03410 0.054  
0,08810 0.0343 0,12240 0.6205 0,74290 0.6205 1,04080

Umbrales predeterminados:

[0,0001: 0.0001: 0,001 ; 0,002: 0.001: 0,01 ; 0,02: 0.01: 2,265625];

Podemos ver que en la primera lista el salto que se produce entre umbrales consecutivos cambia entre cada par, siendo a veces la diferencia entre estos muy distinta entre sí.

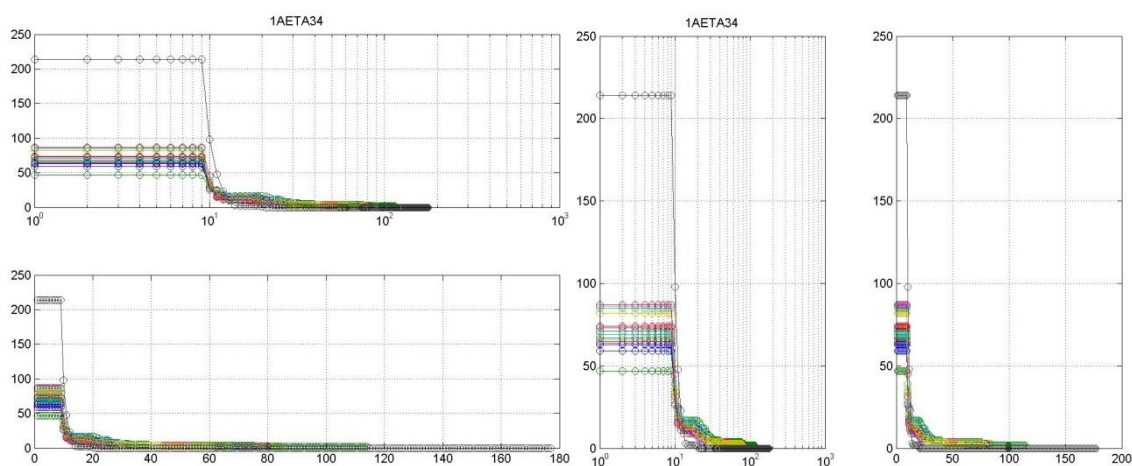


ILUSTRACIÓN 41: Señal “1AEC34.mat”.

(a) curva de la caída del número de turns con el eje x en escala logarítmica vista apaisada.

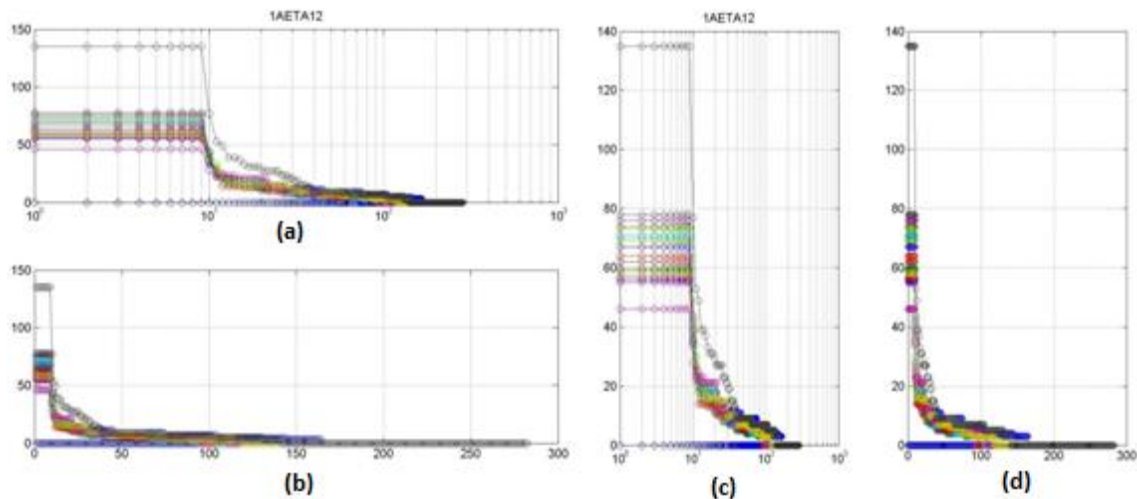
(b) curva de caída del número de turns, eje x en escala línea, representación apaisada.

(c) curva de caída del número de turns, eje x en escala logarítmica, vista vertical.

(d) curva de caída del número de turns eje x escala lineal, vista vertical.

En la grafica (d) se observa claramente que la representación se acerca a una caída exponencial.

Si nos fijamos en la señal de la “Ilustración 41”, al igual que en la anterior dejamos de tener cambios bruscos en la caída de la señal ya que la distancia entre umbrales ya no es tan grande luego el número de turns tampoco cae de forma abrupta sino poco a poco.



**ILUSTRACIÓN 42:** Señal “1AETA12.mat”.

(a) curva de la caída del número de turns con el eje x en escala logarítmica vista apaisada.

(b) curva de caída del numero de turns, eje x en escala línea, representación apaisada.

(c) curva de caída del número de turns, eje x en escala logarítmica, vista vertical.

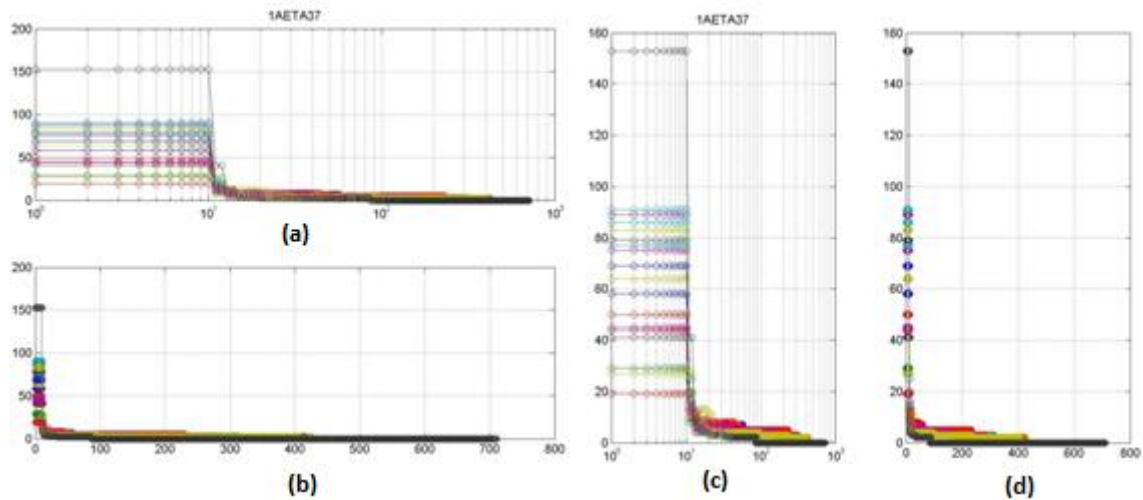
(d) curva de caída del número de turns eje x escala lineal, vista vertical.

En la grafica (d) se observa claramente que la representación se acerca a una caída exponencial.

Las graficas anteriores “Ilustración 42” no presentan una gran diferencia de poner los umbrales o de buscarlos, ya que más o o menos la curva de caída es más o menos parecida en ambos casos.

En los dos casos siguientes (“Ilustración 43” e “Ilustración 44”), las graficas que aquí se presentan cambian mucho con respecto a las obtenidas en el caso anterior donde casi no teníamos puntos de evaluación para la obtención de los turns y al introducir valores predeterminados sí que vemos que la curva de caída es totalmente una caída exponencial.

La causa de esto se debe a que de la media de las señales no obteníamos muchos turns.



**ILUSTRACIÓN 43:** Señal “1AETA12.mat”.

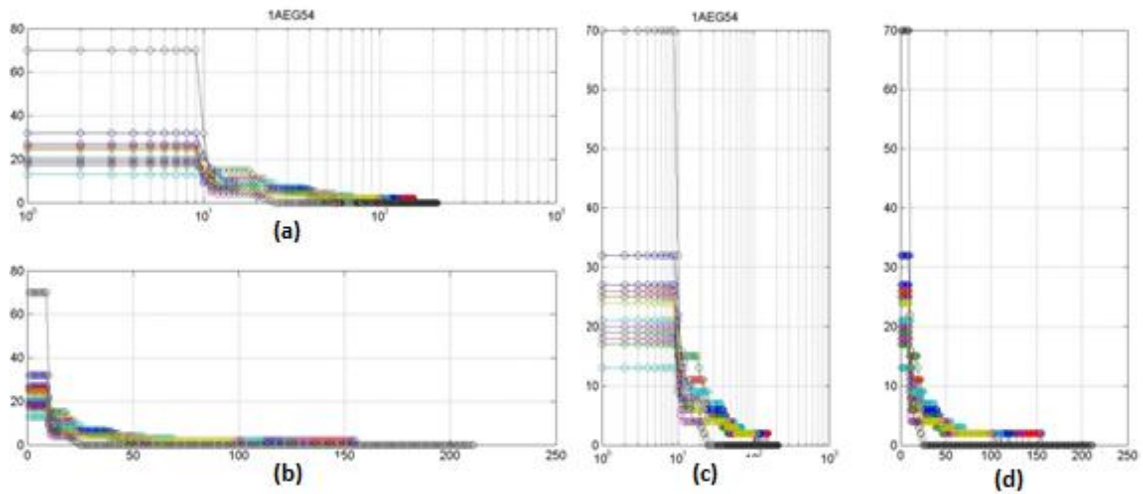
(a) curva de la caída del número de turns con el eje x en escala logarítmica vista apaisada.

(b) curva de caída del numero de turns, eje x en escala línea, representación apaisada.

(c) curva de caída del número de turns, eje x en escala logarítmica, vista vertical.

(d) curva de caída del número de turns eje x escala lineal, vista vertical.

En la grafica (d) se observa claramente que la representación se acerca a una caída exponencial.



**ILUSTRACIÓN 44:** Señal “1AETA12.mat”.

(a) curva de la caída del número de turns con el eje x en escala logarítmica vista apaisada.

(b) curva de caída del numero de turns, eje x en escala línea, representación apaisada.

(c) curva de caída del número de turns, eje x en escala logarítmica, vista vertical.

(d) curva de caída del número de turns eje x escala lineal, vista vertical.

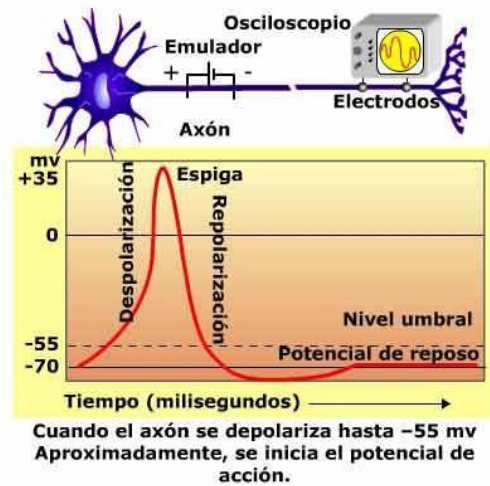
En la grafica (d) se observa claramente que la representación se acerca a una caída exponencial.

### 3.3. DETECCIÓN DE LA ESPIGA PRINCIPAL DEL PAUM

#### 3.3.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El estudio de las señales provenientes de micro electrodos de registro es de gran interés en los campos de la neurociencia. En los últimos años se han desarrollado diferentes técnicas para extraer información de estas señales, las cuales se caracterizan por contener los potenciales de acción o espigas de diferentes neuronas que rodean al micro electrodo.

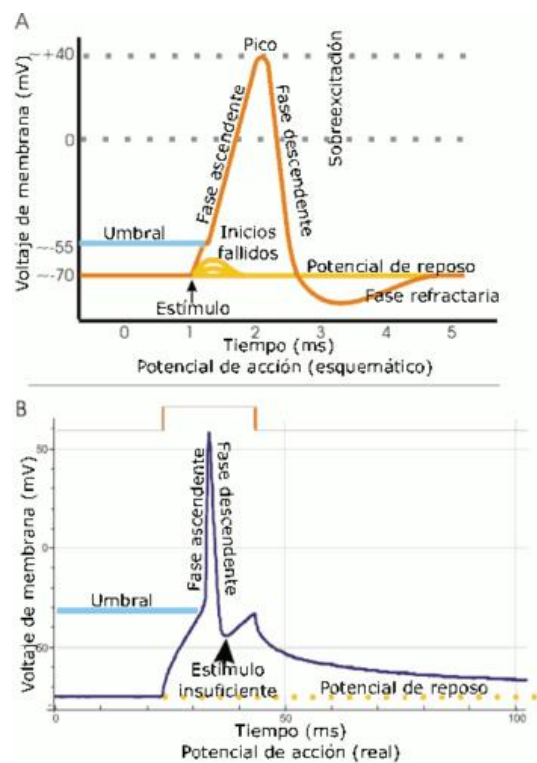
En general, las espigas generadas por diferentes neuronas tienen formas diferentes, dependiendo del tipo de neurona y su distancia a la punta del micro electrodo. Además, la interfaz electrodo-neurona tiene ganancia dependiente de la proximidad entre ellos, lo que genera que la actividad generada por neuronas lejanas al micro electrodo tenga diferentes características que las generadas cerca de él.



**ILUSTRACIÓN 45:** proceso de despolarización y repolarización que se genera en una neurona que produciendo lo que llamamos espiga de principal de la señal

#### EL POTENCIAL DE ACCIÓN

El potencial de acción es un fenómeno activo que se produce gracias a la apertura, a nivel de la membrana celular, e vías selectivas para el  $\text{Na}^+$  y el  $\text{K}^+$ . El potencial de acción se propaga como una onda por toda la membrana plasmática sin que disminuya su amplitud. Esta propagación es de capital importancia en las células excitables de gran longitud (fibras musculares estriadas y los axones de las neuronas). Sin esta propagación las neuronas no se comunicarían entre sí ni con los órganos con lo que hacen contacto (glándulas y músculos), y las fibras del musculo estriado no se contraerían en toda su extensión. El potencial de acción se propaga debido a que origina corrientes pasivas (sin cambio de conductancia) que influyen hacia las zonas



**ILUSTRACIÓN 46:** A. Vista esquemática de un potencial de acción ideal, mostrando sus distintas fases. B. Registro de un potencial de acción, normalmente deformado, comparado con el esquema debido a las técnicas electrofisiológicas utilizadas en la medición.

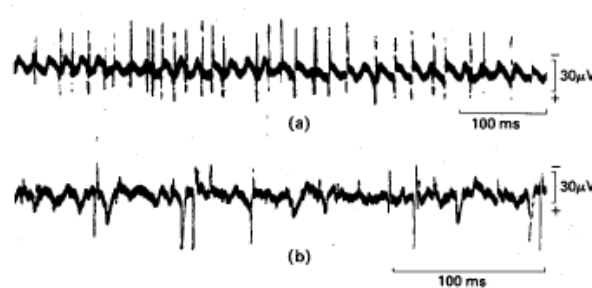


vecinas. La corriente pasiva transmembranal da lugar a una despolarización que cuando alcanza el umbral genera a su vez un potencial de acción en esas zonas. La velocidad de conducción del potencial de acción está determinada por propiedades eléctricas pasivas (propiedades del cable), que a su vez determinan las llamadas constantes de espacio ( $\lambda$ ) y tiempo ( $\tau$ ). Estas constantes dependen del diámetro de la fibra, sea esta nerviosa o muscular, y de la resistencia y capacidad eléctricas de la membrana. Cuanto más gruesa es la fibra, mayor es la velocidad de conducción. La morfología típica del potencial de acción se muestra en la siguiente ilustración.

### POTENCIALES CARACTERÍSTICOS EN EMG

Pueden ser debidos a la actividad voluntaria o a la espontánea.

A continuación, se muestran algunos ejemplos: La actividad de inserción es un tipo de actividad espontánea que se origina al penetrar el electrodo en el músculo y que dura, en sujetos sanos, un poco más que el movimiento del electrodo. En algunos sujetos enfermos es fácilmente inducida, presentando una duración mayor y ondas puntiagudas (“Ilustración 47”).



**ILUSTRACIÓN 47:** potenciales de inserción (a) y fibrilación (b) en un músculo parcialmente denervado.

Los potenciales de fibrilación son de pequeña amplitud (30 a 50 pV) con una duración entre 0,5 y 2 ms y con una frecuencia de repetición entre 2 y 10 por segundo. Pueden ser bifásicos o trifásicos y son consecuencia de la contracción espontánea de las fibras musculares. Son característicos de músculos en los que la continuidad entre el axón motor y la fibra muscular se ha interrumpido.

Las fasciculaciones son contracciones espontáneas de fibras musculares o unidades motrices, lo suficientemente potentes para producir una contracción visible del músculo pero sin que la articulación se mueva. Pueden presentarse en sujetos sanos y en enfermedades degenerativas muy graves de las neuronas motrices, lo que hace difícil el diagnóstico.

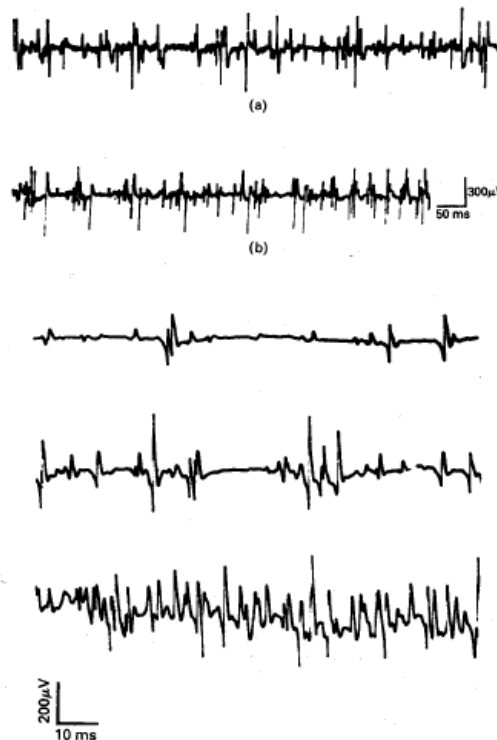
Otros tipos de actividad espontánea son: la respuesta miotónica, los calambres, los espasmos musculares, etc.

Dentro de la actividad voluntaria, los potenciales de unidad motriz (PUM) son el objeto principal de estudio. Consisten en la suma de distintos potenciales de acción de grupos de fibras musculares que se están contrayendo casi sincronizadamente. Pueden ser monofásicos, bifásicos o trifásicos y, en ocasiones, polifásicos con cinco o más fases. Su duración está comprendida entre 2 y 15 ms y su amplitud entre 100  $\mu\text{V}$  y 2 mV, aunque estas magnitudes dependen mucho del tipo de electrodos empleado y del músculo considerado (número de fibras de la UM) (“Ilustración 47 a”)

La forma y las dimensiones de los PUM pueden modificarse en gran medida en sujetos enfermos: por ejemplo, en algunas nefropatías periféricas la duración de los PUM aumenta, así como su número de fases (“Ilustración 47 b”).

El registro de los PUM se suele realizar contrayendo débilmente el músculo en observación. Si la contracción se hace mucho más intensa, se obtiene lo que se conoce por patrón de interferencia: los PUM se superponen siendo difícil distinguir sus características individuales. El aspecto del registro se muestra en la “Ilustración 47 c”.

Los PUM y el patrón de interferencia constituyen los registros principales de la actividad voluntaria.



**ILUSTRACIÓN 48:** a) PUM de un sujeto normal; b) PUM polifásico en una neuropatía periférica; c) PUM de un sujeto normal al ir aumentando el nivel de contracción.

### 3.3.2. PROGRAMAS REALIZADOS

Se quiere calcular y seleccionar la espiga principal de cada una de las capturas pertenecientes a los potenciales dados. Estas espigas se obtienen a partir de los turns que nos da la función anteriormente facilitada “turns()”, a la que tenemos que pasarle como parámetros de entrada la señal de la cual se quieren obtener los turns y el umbral que queremos tome como mínima amplitud entre turns consecutivos para la selección de estos.

Inicialmente se pensó en utilizar una misma lista de umbrales obtenidos de la media de la señal para el posterior cálculo de los turns de todas las capturas que componían dicha señal, viendo el resultado que se obtenía, y no teniendo un umbral claro para utilizar en la obtención de la espiga de la señal, nos vemos en la obligación de seguir otro proceso diferente, en el cual el cálculo del umbral óptimo para la obtención de la espiga principal sea calculado de manera automática para todas las señales.

El valor de umbral que deberemos usar, deberá ser un valor que no se haya elegido al azar, sino que se haya calculado de manera que con el obtengamos solo los puntos (turns) que nos interesan. De este modo, necesitamos optimizar este valor y para ello utilizaremos una lista de umbrales equidistante para los cuales obtendremos el número de turns que corresponden a cada cada captura para cada umbral y veremos su variación, buscando el punto donde cambiamos de tener un número elevado de turns a tener un valor mucho menor (es decir la mayor caída del valor del numero de turns), este dato se obtendrá mediante aplicación de derivadas (segunda derivada, la cual se utiliza para efectuar una prueba simple correspondiente a los máximos y mínimos relativos) a las señal que representa el numero de turns en función de los umbrales que proponemos en este punto similar a la grafica de la variación del numero de turns en función del umbral pero con los datos un poco cambiados ya que no nos es necesario seleccionar tantos umbrales como en el apartado anterior, en el cual la necesidad de información era mayor, y además la distancia entre los valores de los turns va a ser un poco más grande para eliminar mucho casos en los cuales los datos se repiten.

Se han pensado varias posibilidades para la lista de umbrales que se utilizaran en la detección de turns, poner valores constantes dados (varios valores diferentes) o calcular un valor que será diferente en cada señal y que con el eliminemos posibles perturbaciones de la señal provenientes de ruido u otros factores que intervengan.

Al ver los resultados obtenidos, se ha determinado que lo más acertado es marcar un valor de inicio e incremento, fijo para todas las señales y capturas, ya que si ponemos el valor calculado que en un principio parecía servirnos cuando acotamos realmente bien la señal, como correspondía a la media de la señal que recortábamos, se



eliminaban muchos tramos que en la media no aparecían pero que cogiendo cada captura individualmente sí que existían, provocando la eliminación de turns que nos eran necesarios en la detección de la espiga principal.

Para la realización de este punto es necesario acotar la señal en estudio, para ello disponemos de la pantalla que se muestra a continuación donde pondremos, determinando a simple vista los valores convenientes de inicio y final de la señal que tengamos en estudio.

Estos valores deberán ser numéricos, de lo contrario, el programa nos avisara con el siguiente mensaje (“Ilustración 49”):

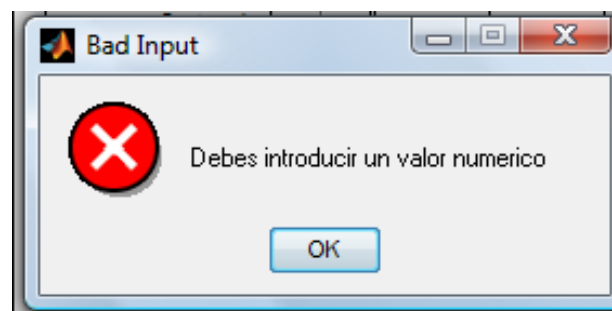


ILUSTRACIÓN 49: Mensaje de error en los datos introducidos en el panel acotar. El valor introducido no es numérico.

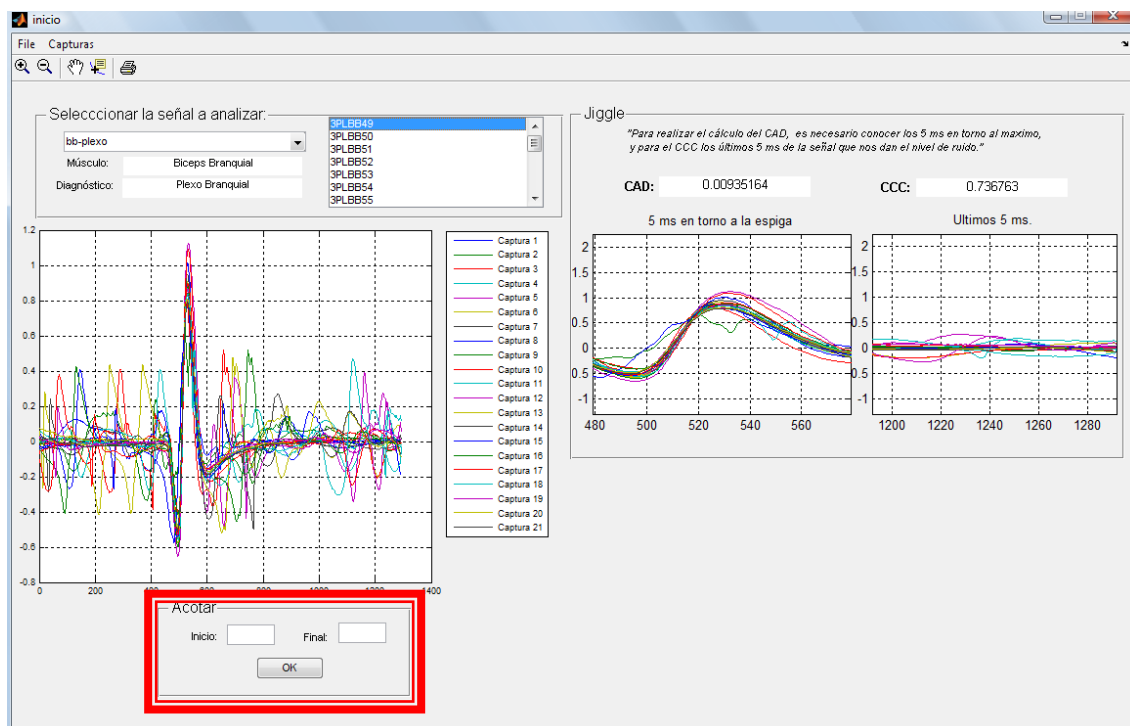
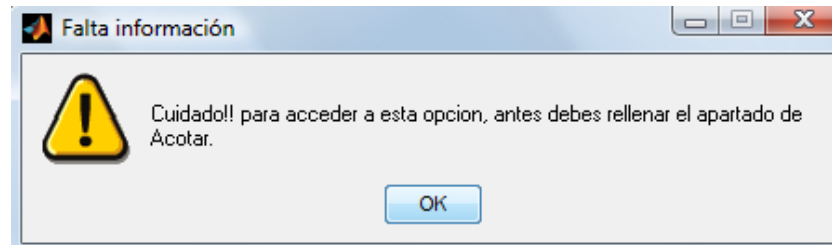


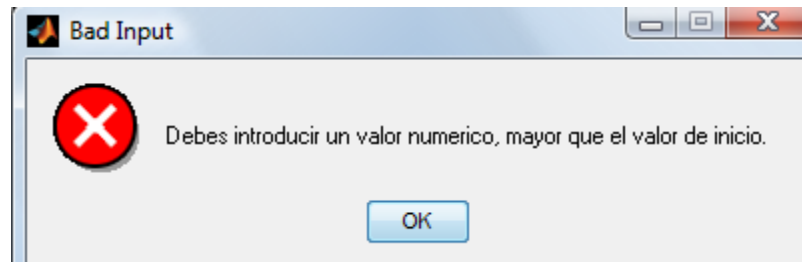
ILUSTRACIÓN 50: Pantallazo de la ventana inicial de la aplicación creada, donde podemos seleccionar la señal y ver los resultados obtenidos para los parámetros CAD y CCC, además de acotar la señal para posteriores cálculos y estudios.

Si no introducimos valores en estos huecos e intentamos acceder a menú de capturas nos aparecerá el siguiente mensaje:



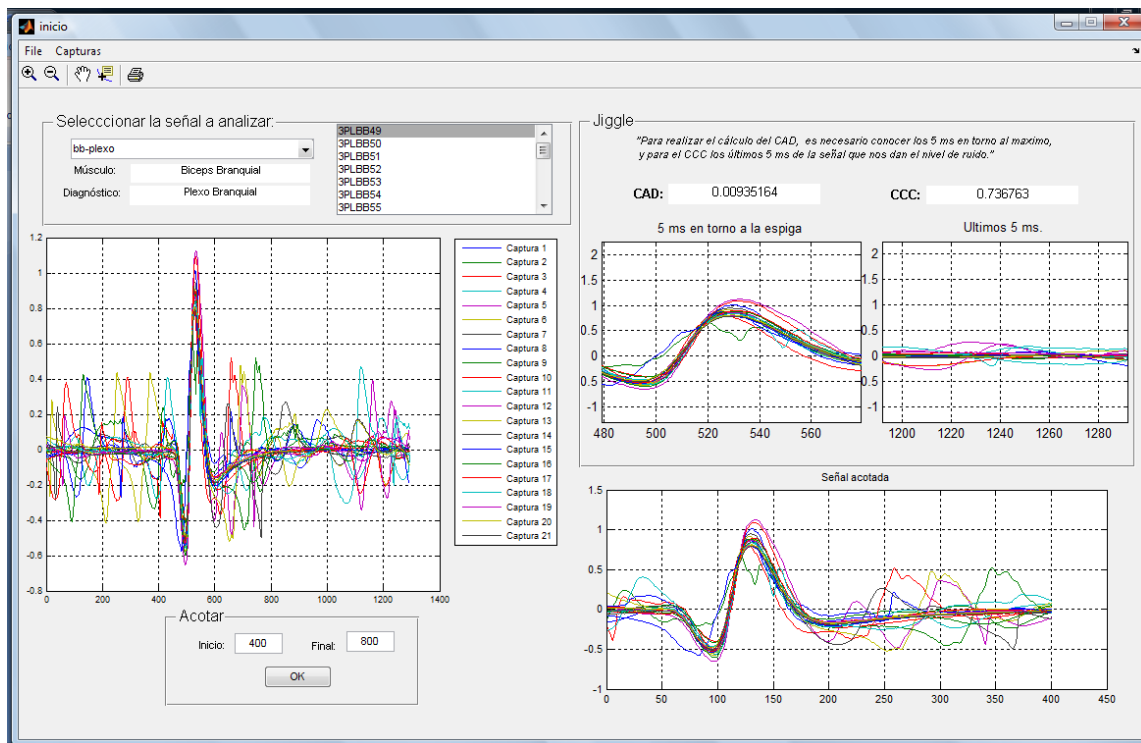
**ILUSTRACIÓN 51:** Mensaje que nos avisa que para acceder a las opciones de la aplicación debemos rellenar los campos del panel “Acotar”.

Los datos introducidos en inicio y final deberán ser numéricos y el final siempre un valor mayor que el inicio, lógicamente, o de lo contrario también la aplicación nos avisara de ellos con otro mensaje.



**ILUSTRACIÓN 52:** Mensaje de error al haber introducido un valor mayor de inicio que de final al acotar la señal de estudio.

Una vez introducidos todos los datos, al pulsar sobre el botón acotar podremos ver el resultado a la derecha de dichos controles. Hay que tener en cuenta que no debemos acotar muy fino ya que esto puede llevarnos a problemas en la detección de la espiga, luego siempre dejaremos un margen con el comienzo principalmente de unas 20 muestras.



**ILUSTRACIÓN 53:** Pantallazo de la ventana inicial de la aplicación después de rellenar los datos de acotar y pulsar el botón. Se observa otra grafica a la derecha, en la que se representa la señal acotada.

Finalmente el código que se propone para este punto del proyecto es el siguiente:

```
ya=arch(inic:final,:);
for k=1:n;
    vect_volt=transpose(ya(:,k));
    maxdiff=max(vect_volt)-min(vect_volt);

    umbrales=[0.01:0.01:abs(maxdiff)/2];
    num_turns=zeros(1,length(umbrales));
    Espigas= zeros(4,n);
    for i=1:length(umbrales);
        mup_turns=[]; turn_sign=[];
        [mup_turns,turn_sign]=turns(vect_volt,umbrales(i));
        if length(mup_turns)==1 & mup_turns(1)==0;
            num_turns(i)=0;
        else
            num_turns(i)=length(mup_turns);
        end
    end
    derivada2=diff(diff(num_turns));
    umb_validos=[];
    if not isempty(derivada2);
        picos=eliminar_repetidos(derivada2(4:1:length(derivada2)),0);
        picos=picos(find(picos>0));
        for i=1:length(picos)
            umb_validos=[umb_validos find(picos(i)==derivada2)];
        end
        if not isempty(umb_validos);
            [mup_turns,turn_sign]=turns(vect_volt,umbrales(umb_validos(
                length(umb_validos))));
            if k==1;turns_capt_ant=length(mup_turns);
        end
    end
end
```

```

        if turns_capt_ant<=4;turns_capt_ant=5;
        elseif turns_capt_ant>=8;turns_capt_ant=7;end
    end
end
if length(mup_turns)<turns_capt_ant & length(umb_validos)>1;
    mover=1;
    while length(mup_turns)<turns_capt_ant,
        [mup_turns,turn_sign]=turns(vect_volt,umbrales(umb_validos
            (length(umb_validos)-mover)));
        mover=mover+1;
    end
elseif length(mup_turns)>turns_capt_ant+1;
    mover=0.01;
    while length(mup_turns)>=turns_capt_ant;
        [mup_turns,turn_sign]=turns(vect_volt,umbrales(umb_validos
            (length(umb_validos)))+mover);
        mover=mover+0.01;
    end
    if mup_turns==0;
        mover=mover-0.02;
        [mup_turns,turn_sign]=turns(vect_volt,umbrales(umb_validos
            (length(umb_validos)))+mover);
    end
end
if not(mup_turns==0 );
    plot(vect_volt); hold on,
    plot(mup_turns,vect_volt(mup_turns),'ro'), grid
    hold off;

    amplitud=diff(vect_volt(mup_turns));
    tiempo=diff(mup_turns);
    pendiente=amplitud./tiempo;
    [amp_max,pos]=max(amplitud);
    [pend_max,pos2]=max(pendiente);
    if pos==pos2;
        espiga=[mup_turns(pos) mup_turns(pos+1)];
    else
        espiga=[mup_turns(pos) mup_turns(pos+1)];
    end
    if not isempty(pos) & not isempty(pos2)
        Espigas(:,k)=[espiga(1) espiga(2) vect_volt(espiga(1))
            vect_volt(espiga(2))];
        line([espiga(1) espiga(2)],[vect_volt(espiga(1))
            vect_volt(espiga(2))],'Color','r','LineWidth',4);
    end
else
    warndlg('No se han encontrado espigas para esta señal!!', 'My Warn
        Dialog', 'modal');
    pause
end
end
end
end

```

Cuando ejecutamos este código sobre una señal y una vez acotada a través de la aplicación grafica mostrada anteriormente, utilizaremos los valores de inicio (inic) y final (final) para acotarla y guardarla en la variable ya.

A continuación recorreremos todas las capturas de dicha señal y para cada una de ellas definimos primero seleccionamos solo los datos correspondientes a la señal de la captura y la diferencia entre el máximo absoluto y el mínimo absoluto de ella para con el marcar el límite de los umbrales que se van a utilizar para la detección de la espiga,

los cuales se marcan a continuación y van desde 0.01, con el mismo incremento hasta la mitad de la amplitud absoluta de la señal, el hecho de utilizar dicho incremento se debe a que como lo que queremos a continuación es buscar los puntos de inflexión de la señal, para aplicar correctamente la segunda derivada y hacer un estudio en cuestión necesitamos que haya proporcionalidad entre los datos es decir que cada rango estudiado sea del mismo tamaño de datos, no se comenzara desde el valor cero ya que este nos da como resultado un número muy grande de turns y además sabemos que el punto de inflexión que buscamos se va a encontrar más o menos en la curva de caída del número de turns & umbrales.

Se crearan dos arrays inicialmente de ceros en los que posteriormente se almacenaran los valores del número de turns para cada captura y las coordenadas de inicio y final para las espigas de dicha captura.

Posteriormente recorreremos para cada valor de umbral que se ha predeterminado y aplicaremos la función “turns ()” introduciendo este y la captura como parámetros de entrada. Para ello creamos dos listas de valores `mup_turns` y `turn_sing`, donde almacenaremos el resultado obtenido de dicha función y a continuación analizaremos los datos de salida de la función. Como para muchos de los últimos umbrales no nos encontraremos turns, aplicamos esta condición donde si la longitud de `mup_turns` es igual a uno y el valor de esta es cero, el numero de turns (`num_turns`) va a ser cero, de lo contrario si esto no se cumple guardaremos en `num_turn` la longitud de `mup_turns`.

Una vez ya tenemos los números de turns correspondientes a cada umbral en una lista de datos (`num_turn`), la utilizaremos para aplicarle la segunda derivada, con la cual veremos donde se encuentran los puntos de inflexión de la captura, es decir los puntos donde pasamos de tener un valor de turns relativamente grande a otro relativamente pequeño, que es lo que finalmente nos interesa para poder hacer una selección del umbral correcto con la que luego la espiga de la captura la podamos determinar de forma automática para todas las señales sin importarnos su naturaleza. La segunda derivada se obtiene aplicando dos veces seguidas la función “diff ()” la cual calcula la diferencia entre puntos consecutivos de una lista de datos.

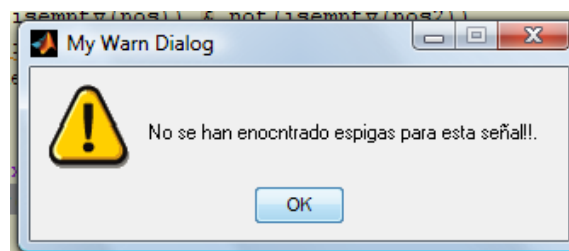
Como el umbral y el número de turns no van a ser el mismo para cada captura de señal, vamos a guardar en `umb_validos`, todas las posiciones donde encontramos picos máximos en la segunda derivada. Para ello buscamos los valores, exceptuando el cero y eliminando repetidos, de los picos máximos encontrados en la segunda derivada y desde el más pequeño hasta el mayor guardamos las posiciones donde encontramos dichos máximos.

Si la lista de umbrales validos no está vacía entonces, aplicamos la función `turns` para el valor de umbral correspondiente al último máximo de la segunda derivada. Para la

primera captura guardaremos el número de turns obtenido en ella siempre y cuando el número de turns sea mayor que cuatro y menor que ocho. Si es menor que cuatro, lo más probable es que el la espiga no la detectemos correctamente, ya que son muy pocos puntos, luego entonces guardaremos le valor correspondiente a cinco turns, y si es mayor de ocho ocurre lo mismo pero debido a que hay demasiado turns, por lo que nos puede llevar a tener en cuenta pequeñas variaciones que se puedan producir a largo de la duración de la espiga y que no nos interesan por ello en ese caso guardemos el valor correspondiente a siete turns.

Después miraremos si el numero de turns es menor que el de la captura anterior y si tenemos más de un umbral valido, si es así entonces volveremos a aplicar la función turns hasta que el numero sea igual o mayor que el de la primera captura, si no es así, miraremos si es mayor, entonces añadiremos al umbral correspondiente al último máximo de las segunda derivada, 0.01 en cada vuelta, y volveremos aplicar la función turns hasta que el numero de turns correspondiente sea menor o igual que el de la primera captura que es el de referencia, cuando este bucle termine, miraremos si el último número de turns seleccionado no es cero ya que si es cero tendremos que coger el valor de umbral correspondiente al de restar al último que se ha puesto 0,02.

En este momento ya tenemos el número de turns necesario para la obtención de la espiga de la captura, o lo que es lo mismo tenemos un numero de turns distinto de cero. Si el número de turns no es igual a cero entonces nos aparecerá un mensaje que nos avisara que para esa captura no se han encontrado espigas, mediante un mensaje en pantalla (“Ilustración 54”).



**ILUSTRACIÓN 54:** Mensaje que nos avisa en caso de no encontrar espiga para la captura de la señal que se encuentre en estudio en ese momento.

Ahora ya tenemos todos lo necesario para poder detectar la espiga correspondiente a la captura, para ello calcularemos las amplitudes entre los turns consecutivos, y el tiempo que transcurre entre ellos, con estos datos podremos calcular la pendiente de la recta que forma dichos puntos. En dos pares de datos guardaremos la localización de los turns donde se encuentran los que conforman una amplitud máxima y una pendiente máxima. Si estas posiciones coinciden, dichos turns formaran la espiga

principal de la captura, si no es así, entonces deberemos dar prioridad a la amplitud o a la pendiente, en este caso se ha decidido que la amplitud tiene preferencia sobre la pendiente, ya que en las señales EMG lo más característico es la espiga que es el pico de mayor amplitud. Con estos datos podemos representar mediante una recta sobre el potencial de la captura el resultado de la espiga.

### 3.3.3. RESULTADOS OBTENIDOS

El resultado obtenido de la ejecución del código anterior para algunos de los potenciales de los que disponemos, no ha sido satisfactorio inicialmente, habiendo encontrado varios casos en los cuales la elección del potencial es errónea, pero estos problemas se han subsanado, de todos modos nos ha parecido interesante comentar estos casos, ya que se deben a la naturaleza o forma de alguna de las señales, y el código que se ha generado depende de estos casos.

A continuación explicamos cada una de estas situaciones que causan error en la elección de la espiga principal del potencial, pero que posteriormente se han eliminado no encontrándose durante la ejecución del código anterior prácticamente ninguno de los casos citados, además también se citan un par de casos en los que hay que realizar un estudio especial, ya que se trata de señales un poco especiales.

Inicialmente, como ya se ha comentado, para la elección del umbral óptimo necesario para la detección de la espiga principal, se necesita aplicar la segunda derivada a la curva de caída del número de turns encontrados en la señal en función de los umbrales propuestos.

Inicialmente se pensó en poner una distancia entre umbrales calculada a partir de la media de la señal siendo el resultado en algunas de las señales no satisfactorio. Ya que al calcular el incremento del umbral a partir de la media de la señal recortada, en muchas de las capturas, se están omitiendo pequeñas curvas existentes que en la media no aparecen, y que provocan la ausencia de turns necesarios para la obtención de la espiga o en su defecto hace que obtengamos demasiados turns muchos de ellos innecesarios que nos llevan a una detección errónea.

```
Umbrales
=
[abs(roundn(median(vect_volt),-3)):abs(roundn(median(vect_volt),-3)):maxdiff];
```

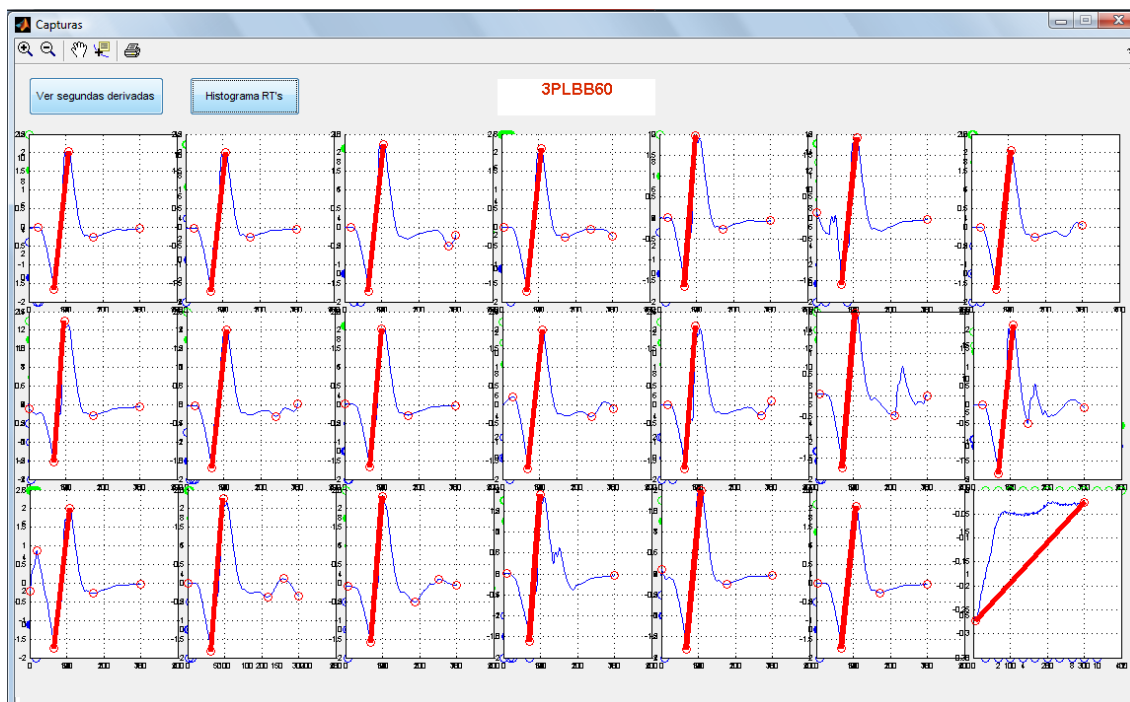
Con estos valores lo que se intenta es poner un valor que tenga que ver con la señal y que a la vez se puedan eliminar posibles perturbaciones que provengan de agentes externos.



Este es un claro ejemplo de que cada captura posee un numero de curvas (puntos de inflexión) distintos, en algunas mas y en otras menos, luego si calculamos la distancia entre umbrales a partir de la media de la captura, vemos que el valor puede ser muy diferente entre ellas, ya que si la captura tiene muchas oscilaciones en la señal la media será un valor medio de estas, pero si la señal solo presenta la espiga y el resto esta entorno a cero la media será la media de la amplitud de la espiga.

Por lo tanto este tampoco es un valor adecuado como intervalo e inicio de los umbrales para la detección de las espigas.

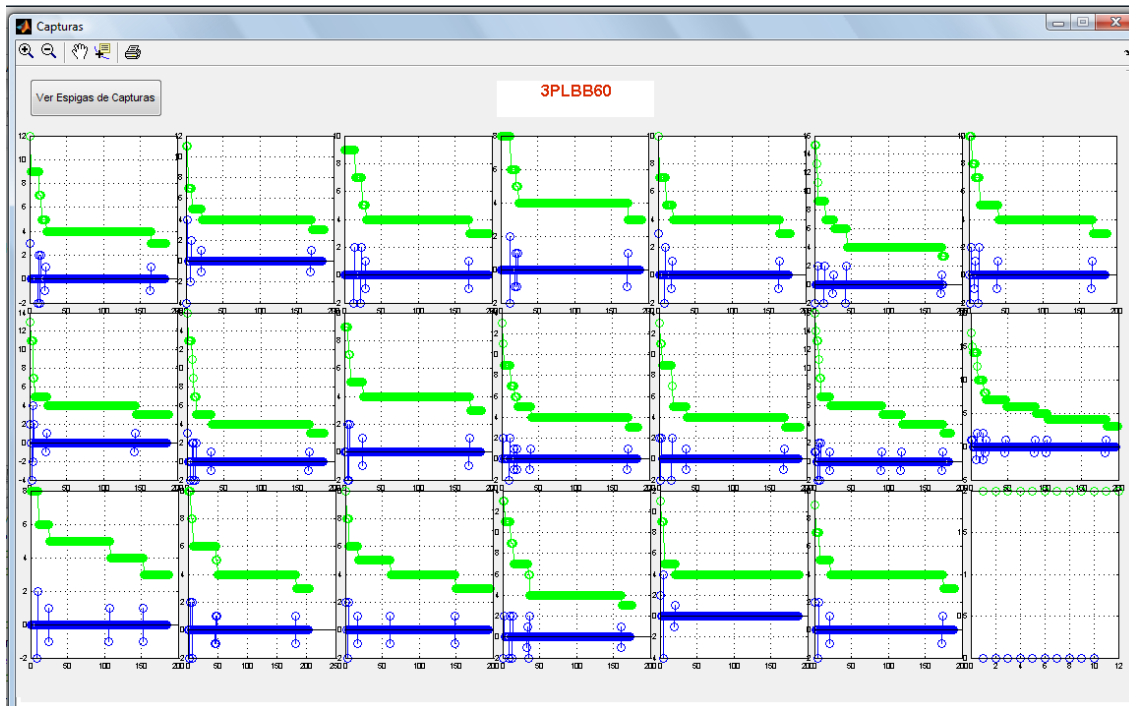
El problema esta principalmente en el primer caso ya que si existen muchas oscilaciones y estas se encuentran también durante la espiga, siendo pequeñas o de valor destacable, serán detectadas como turns y la espiga finalmente será seleccionada de manera errónea.



**ILUSTRACIÓN 55:** Pantallazo de la aplicación para la opción “Espigas de las capturas”, donde podemos ver cada captura de la señal seleccionada con su respectiva espiga dibujada con línea roja.

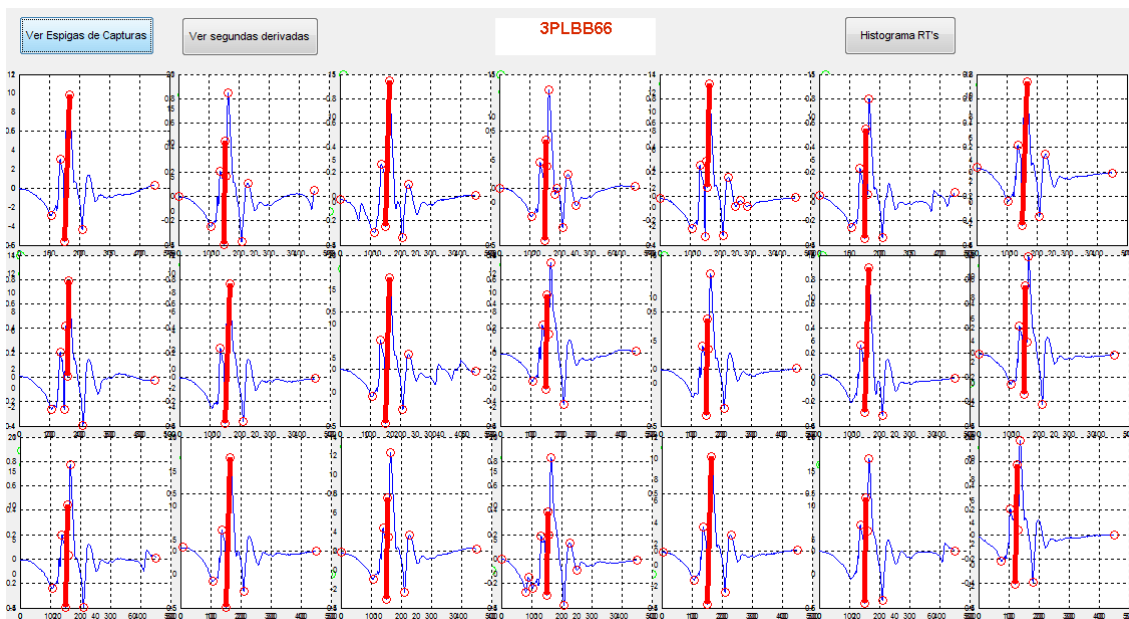
Podemos ver que en cada captura el número de turns seleccionado es diferente y que además no en todas, la detección de la espiga principal se realiza de manera correcta.

Si vemos las segundas derivadas junto con la caída del numero de turns, siendo la distancia entre umbrales y el umbral de inicio calculado a partir de la formula que se cita a continuación tenemos las gráfica mostradas en la “Ilustración 56”.



**ILUSTRACIÓN 56:** Pantallazo de la aplicación en la opción del menú “Espigas de la Captura”, después de pulsar el botón “Ver segundas derivadas”.

Al ver el resultado en la segunda derivada vemos que para cada una de ellas existe un número diferente de turns correspondiente al máximo de la señal, en este caso la selección de la espiga principal solo falla para una captura, pero este mismo proceso hace que en otras señales la selección de la espiga sea errónea en varias de sus capturas.



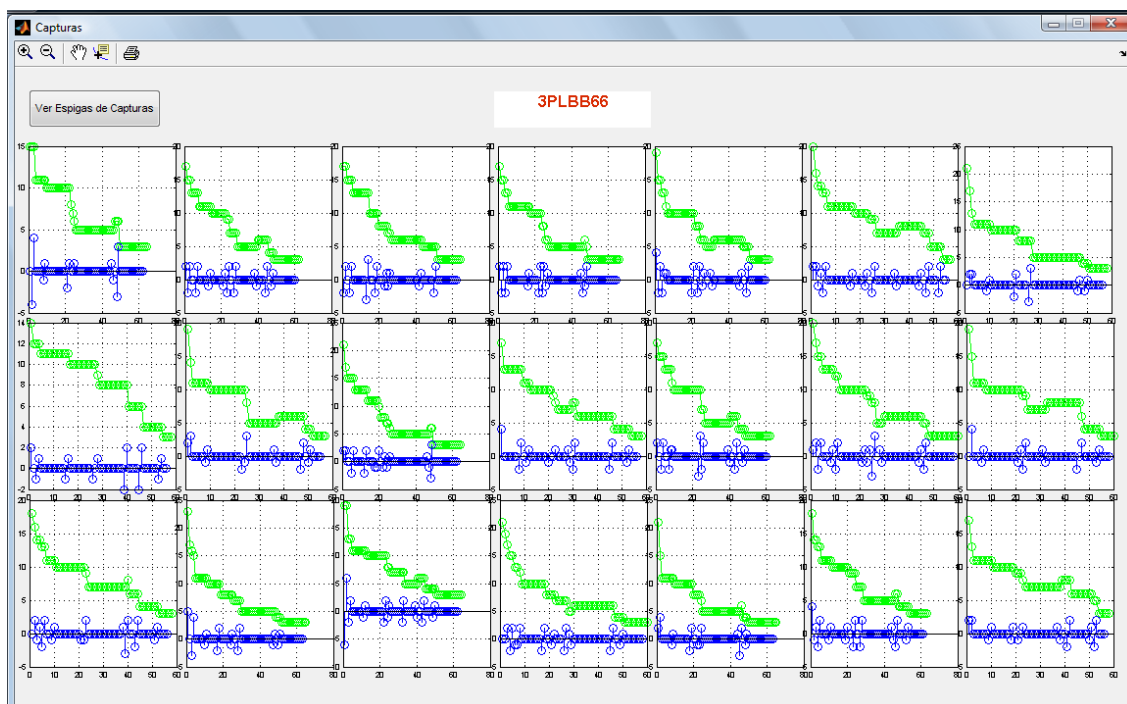
**ILUSTRACIÓN 57:** Pantallazo de la detección de las espigas, en este caso erróneamente detectadas, para la señal “3PLBB66.mat”.

En el ejemplo anterior (“Ilustración 57”) podemos ver que el mismo código para otra señal produce muchos más errores que en la anterior, casi en cada captura la selección de la espiga es diferente así como el número de turns que se seleccionan con el umbral que se ha determinado como óptimo para la selección de la espiga.

Podemos pensar que se debe a que la señal tiene mucha variabilidad, pero en muchos casos nos vamos a encontrar con este hecho. En la segunda derivada junto con la caída del número de turns (“Ilustración 58”) vemos que existen numerosos picos y que además, no sabemos debido a que la caída del número de turns no siempre es decreciente ya que podemos observar que casi al final este valor de repente aumenta. Este hecho es algo muy extraño, ya que lo lógico es que si aumentamos el valor del umbral obtengamos menos turns.

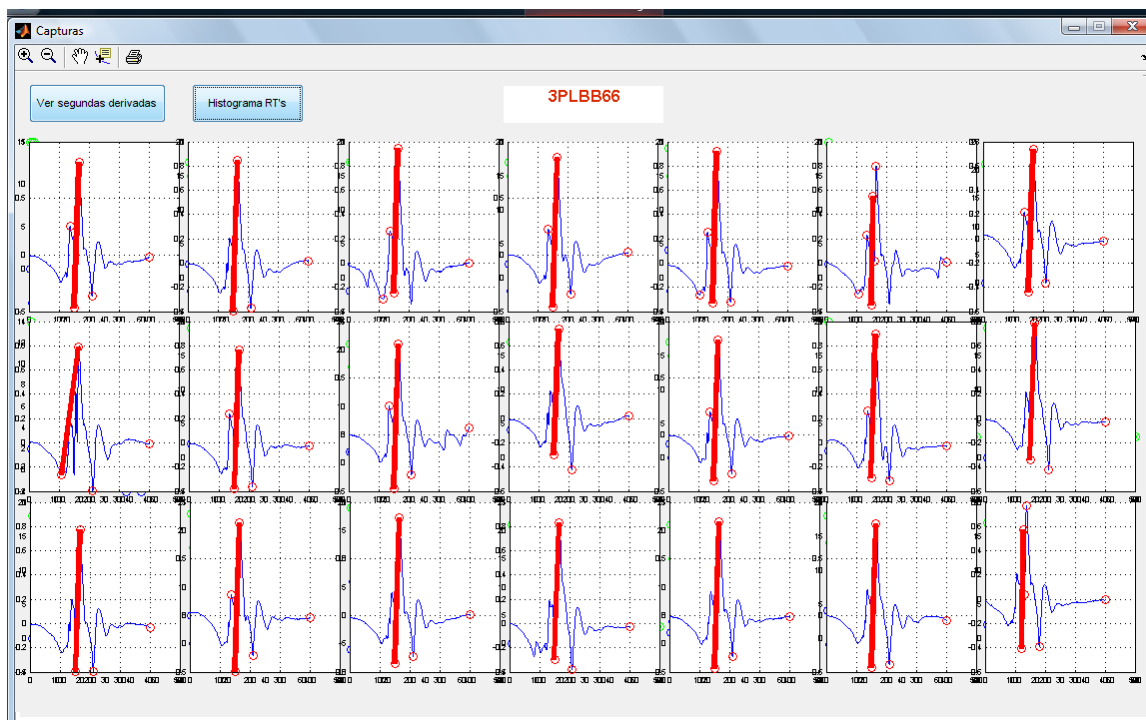
A simple vista no parece tener mucha importancia, el valor solo aumenta en una unidad, pero si nos fijamos en el punto en que se encuentra para la segunda derivada, corresponde en casi todos los casos para el umbral en que esta es máxima por última vez.

No hemos encontrado más casos como este, luego esto nos hace pensar que como la señal es bastante compleja, debamos no tenerla en cuenta para el estudio, aunque si se ha modificado el código para que en todos los casos incluidos este la selección de la espiga se realice de manera correcta.



**ILUSTRACIÓN 58:** Pantallazo de las segundas derivadas de cada una de las capturas para la señal “3PLBB66.mat”. Se aprecian unos cambios raros en la mayoría de las capturas donde el número de turns en vez de seguir disminuyendo, de repente aumenta.

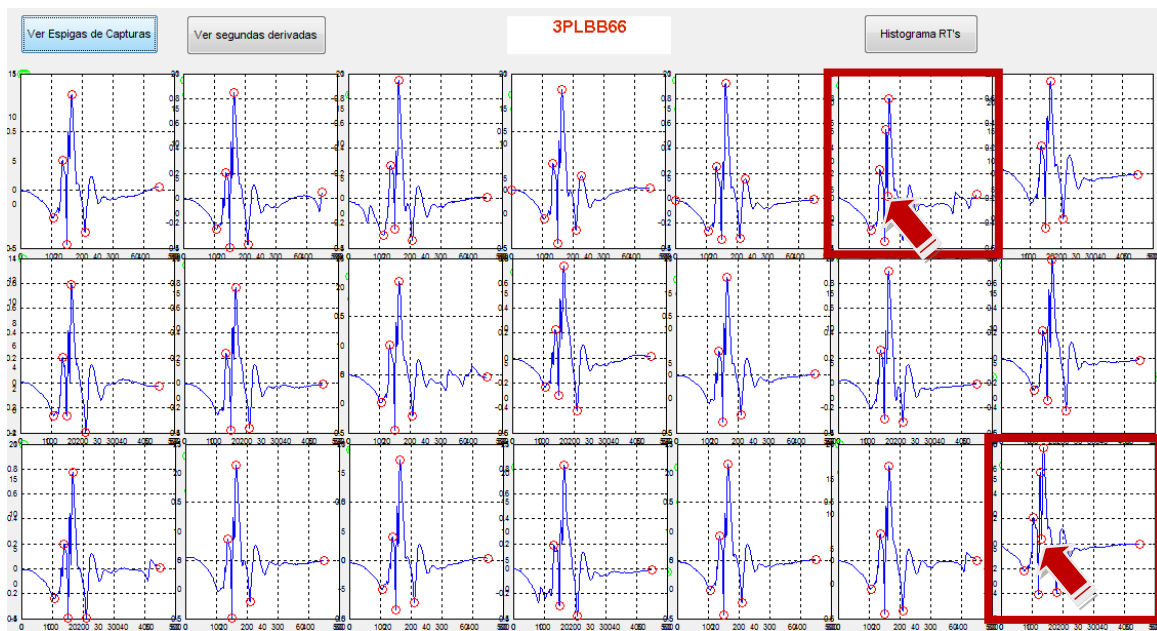
Este mismo ejemplo anterior pero poniendo el incremento de los umbrales y el inicio con el valor fijo de 0.01 nos da el siguiente resultado, no es correcto para todas, ya que en las que la espiga seleccionada no coge el mínimo y el máximo se debe a que entre estos hay otro pico de amplitud significativa que es bastante complicado dejarlo fuera, ya que de ser así, estaríamos eliminando posible información importante de la señal



**ILUSTRACIÓN 59:** Pantallazo de la detección correcta de las espigas de las capturas de la señal “3PLBB66.mat”. La detección parece buena para casi todas las capturas.

Claro está, que cuantos menos picos tenga la señal más fácil será detectar la espiga y menos picos obtendremos en la segunda derivada de la función turns/umbrales.

Si nos fijamos solo en las capturas con los turns que se han determinado necesarios para la detección de la espiga principal, podemos ver que el hecho de que la espiga no sea casi la misma en todas las capturas se debe a lo que anteriormente comentábamos, existe un pico de amplitud importante en el tramo que discurre entre el mínimo de la señal y el máximo posterior que debería formar la espiga.



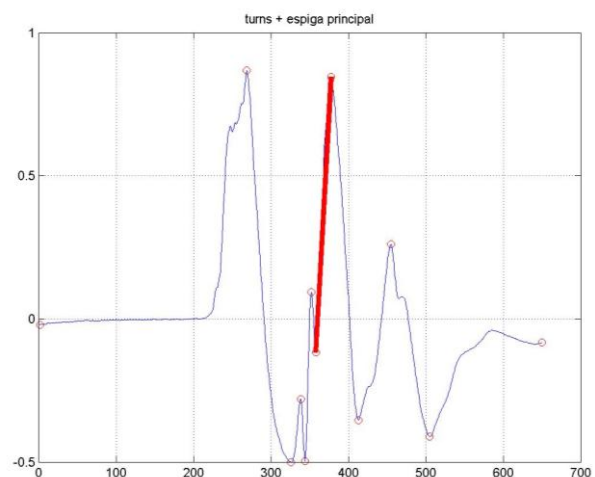
**ILUSTRACIÓN 60:** Espigas representadas solo con los turns, para poder ver el hecho de que la detección errónea en los dos casos marcados se debe a que existe un pico de amplitud importante a lo largo de la espiga detectada en la mayor parte del resto de los casos.

#### a) Encontrar varios picos en la captura:

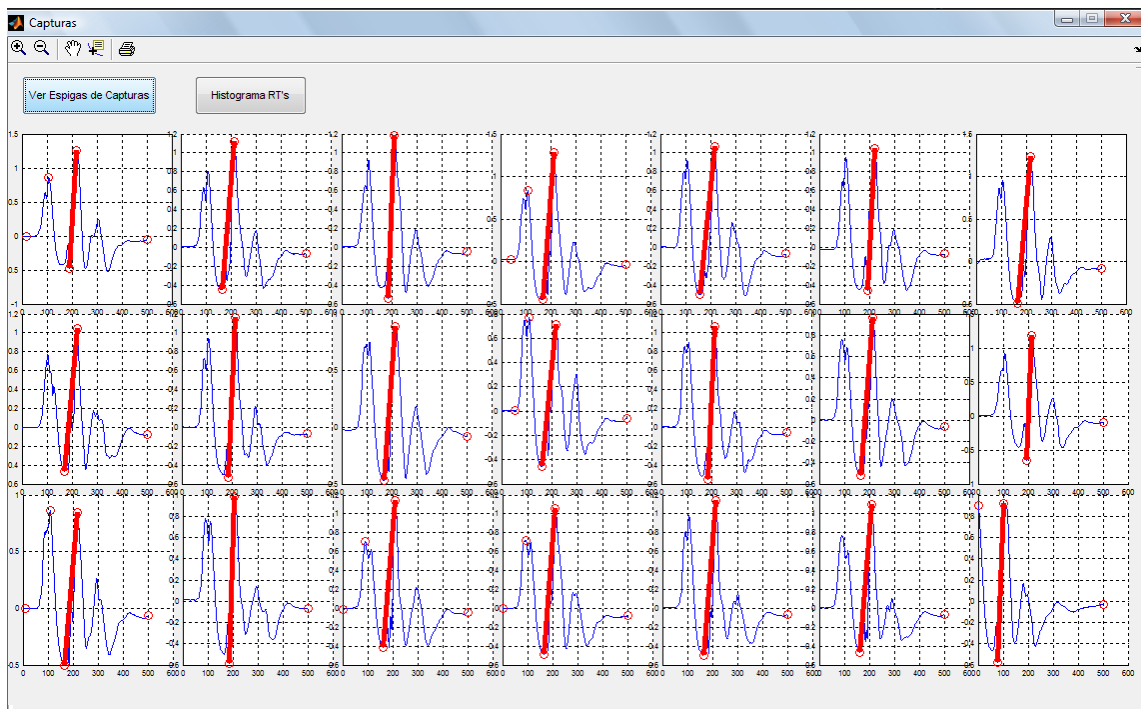
Esto es, que en una misma captura donde tenemos dos picos similares o no, nos puede llevar a una mala elección de la espiga ya que dependiendo de la amplitud o de la pendiente de ambos picos, puede que se seleccione el correcto o no.

En el ejemplo grafico que se muestra en la “Ilustración 61”, puede verse como algunas señales pueden tener varios picos, que dependiendo del umbral impuesto para la selección de la espiga pueden hacer que no se realice correctamente.

Entonces se deduce que si seleccionamos más turns de los necesarios, la espiga puede ser erróneamente seleccionada para algunos casos que presenten turns en el transcurso de esta.



**ILUSTRACIÓN 61:** Señal donde podemos ver que el número detectado de turns hace que lo que debería ser la espiga se divida y se detecte mal.



**ILUSTRACIÓN 62:** Pantallazo de la una señal en la que tenemos dos espigas, una de más amplitud que la otra siendo la principal, y la cual en su proceso, posee un turn, el cual si el umbral utilizado para la detección de la espiga nos lo detecta, la espiga será erróneamente detectada.

En la “Ilustración 62” podemos ver que, si el numero de turns no es el adecuado, se estarán teniendo en cuenta posibles picos que se producen durante la duración de la espiga, no siendo esta correctamente detectada.

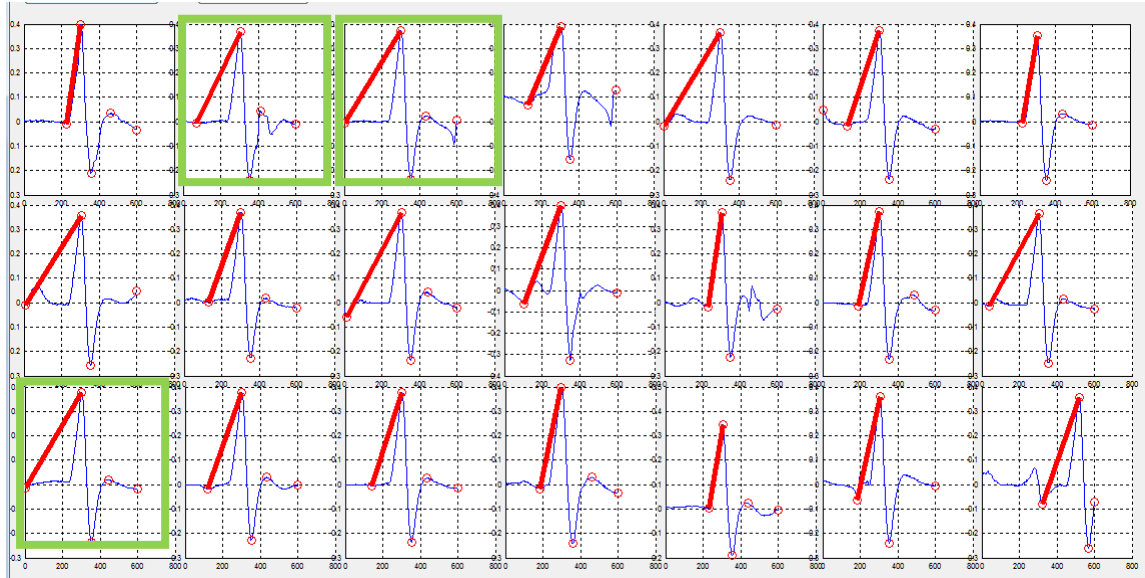
Por eso es necesario que el umbral escogido nos dé un número de turns adecuado dependiendo de las características de la señal, es decir, si tenemos más de un máximo parecido con sus correspondientes mínimos, necesitaremos más de 3 turns pero siempre menos de 8 ya que a lo sumo, el caso más extremo, puede tener 3 picos, no habiéndose encontrado ningún ejemplo de este, pero si puede servirnos el que comentamos, donde tenemos otro pico no de amplitud parecida pero si de un valor importante como para tenerlo en cuenta.

#### ***b) Inicio de la captura mal recortado:***

En algunos casos, la espiga principal del potencial se encuentra al comienzo de la captura, por tanto si esta no está bien recortada (si no se ha quitado toda la información irrelevante del comienzo de la señal, apurando el inicio pero con cierta prudencia para que no eliminemos el punto de comienzo) los turns que nos genera la función utilizada, los cuales utilizamos para elegir la espiga se encuentran en posiciones que no son correctas para obtener una correcta elección, esto quiere decir,

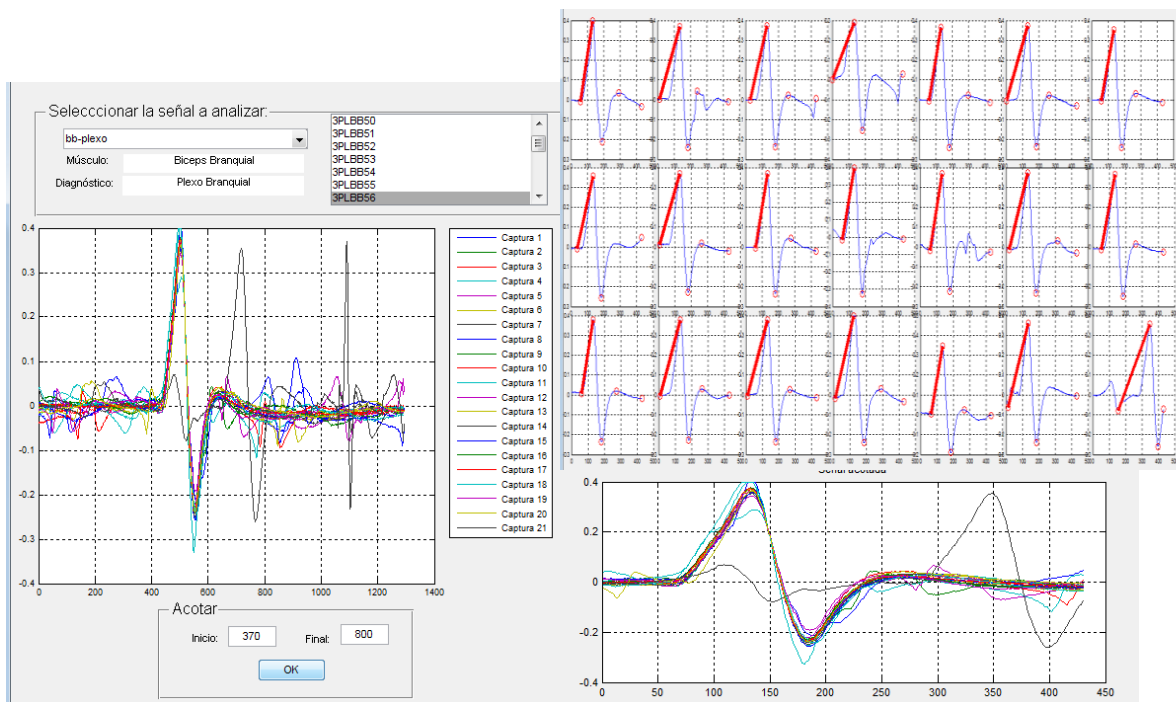


el comienzo de la supuesta espiga, viene marcado antes de que esta comience como puede apreciarse en la “Ilustración 63”, donde están recuadrados los casos en los que esto ocurre.



**ILUSTRACIÓN 63:** Caso que podemos encontrar si al acotar la señal dejamos demasiado trozo al principio o al final que no nos interesa, produciendo una mala detección de la espiga como en los casos recuadrados en color verde. Estas espigas corresponden a la señal “3PLBB56.mat”.

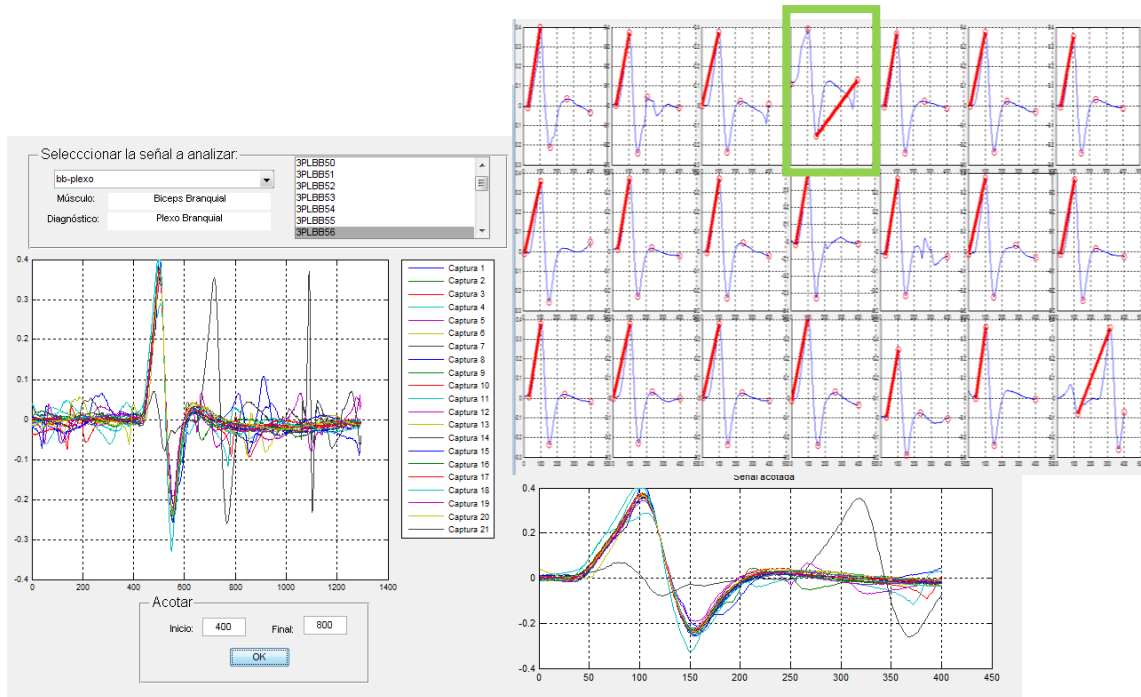
Si pusiésemos el comienzo más al inicio, este hecho se agravaría aún más. En cambio si el inicio lo seleccionamos fijándolo bien el resultado es el siguiente:



**ILUSTRACIÓN 64:** Vista de la señal “3PLBB56.mat” completa y acotada, junto con las detecciones de las espigas de cada captura en este caso correctamente.



El hecho de apurar mucho el comienzo de la señal a la hora de recortarla también puede ocasionar el siguiente error (“Ilustración 65”), que en una de las capturas la espiga se detecte mal ya que tengamos dos pendientes positivas de similar amplitud y por recortar tanto nos quede un poco mayor la que no es correcta.

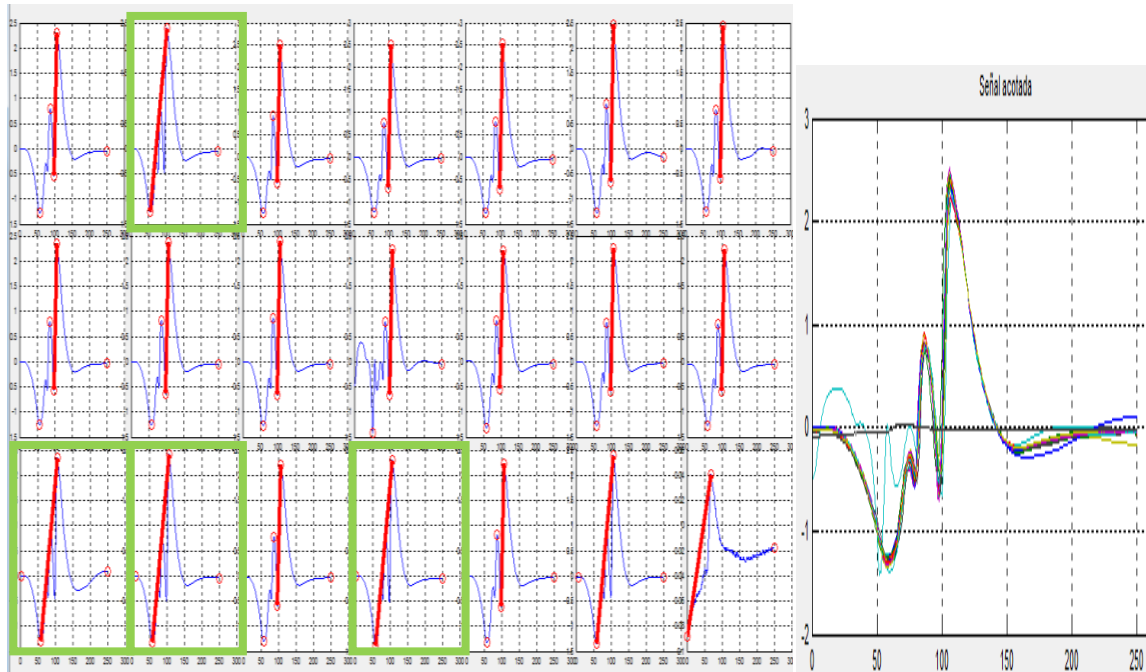


**ILUSTRACIÓN 65:** vista de la señal “3PLBB56.mat” donde en este caso se ha apurado mucho al acotar al inicio la señal obteniendo como resultado una espiga defectuosa. Con esto demostramos que al acotar se debe apurar pero no excesivamente ya que también se pueden producir errores en este caso.

### c) Umbral de turns demasiado grande:

La selección del umbral de turns para la obtención de la espiga principal de la captura del potencial se hace de forma aproximada, no siendo esta siempre la más correcta, ya que en algunos casos omite curvas de la señal que corresponden a cambios de pendiente importantes para la elección de la espiga. Este hecho a veces es importante que se omita cuando la turbulencia (curva) se encuentra durante la prolongación de la espiga ya que puede ser debida a ruido o otras causas (patología del musculo en estudio, error de medición,...) pero que realmente no se debe tener en cuenta. Pero otras veces, nos puede llevar a detectar como pico o como subida de la espiga, dos picos de la captura diferentes entre los cuales hay un tiempo en el que la señal se

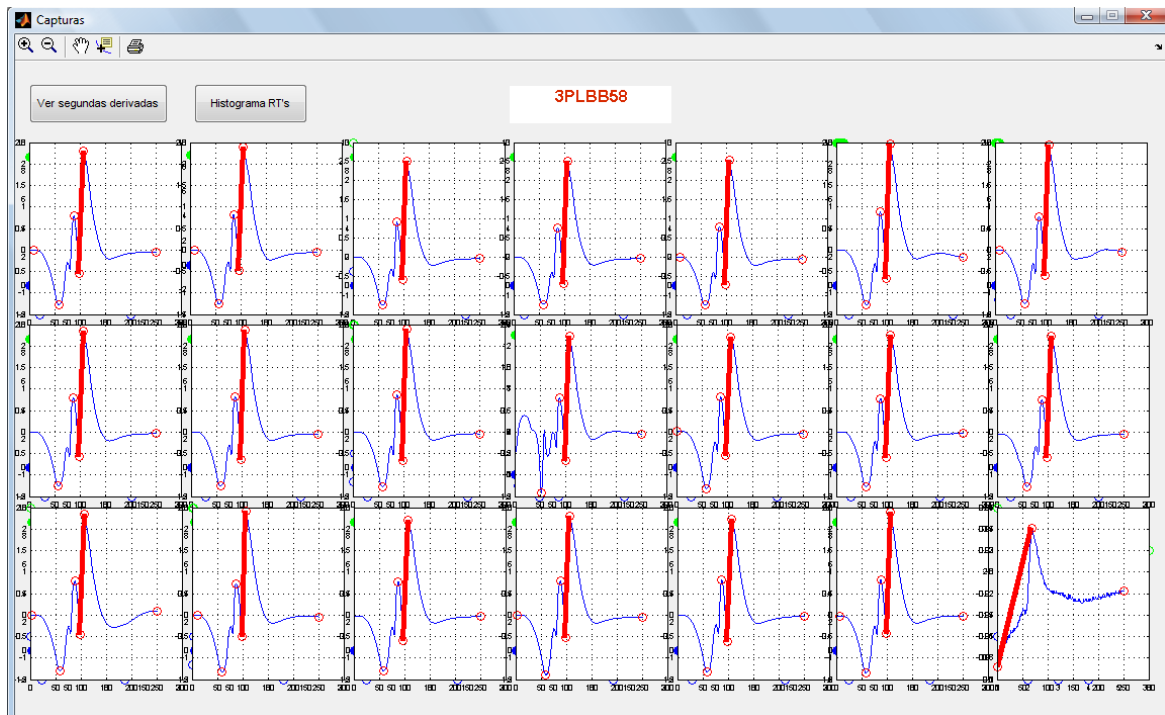
mantiene estable, es decir, gráficamente se ve claramente que hay dos picos diferentes, pero nuestra función lo detecta como un único pico.



**ILUSTRACIÓN 66:** Gráficas pertenecientes a otra señal donde cómo podemos ver en el detalle de la espiga de la señal a la derecha, esta posee un turn muy marcado entre el mínimo y el máximo del trozo seleccionado. Esto nos lleva a tener espigas como las recuadradas en verde que no tienen en cuenta este turn y el resto donde sí lo tienen y la espiga es diferente.

Como muestra en el ejemplo que se presenta anteriormente (“Ilustración 66”), se puede ver como en algunas de las capturas rodeadas en verde, se está omitiendo un pico que se produce antes de lo que se podría considerar la espiga principal y que en el resto siendo estos mayoría, este pico no se considera dentro de lo que es la espiga. Parece ser que es un pico bastante marcado e importante pero que parece obvio que no pertenece a la espiga, este problema persiste en algún caso aislado pero de poca importancia ya que solo aparece en alguna captura aislada.

Con el código definitivo este caso se reduce a la imagen que se muestra a continuación (“Ilustración 67”) donde en todas las capturas tiene una detección de la espiga correcta.



**ILUSTRACIÓN 67:** Capturas con las espigas dibujadas con línea roja de la señal “2PLBB58.mat”. Resultado definitivo.

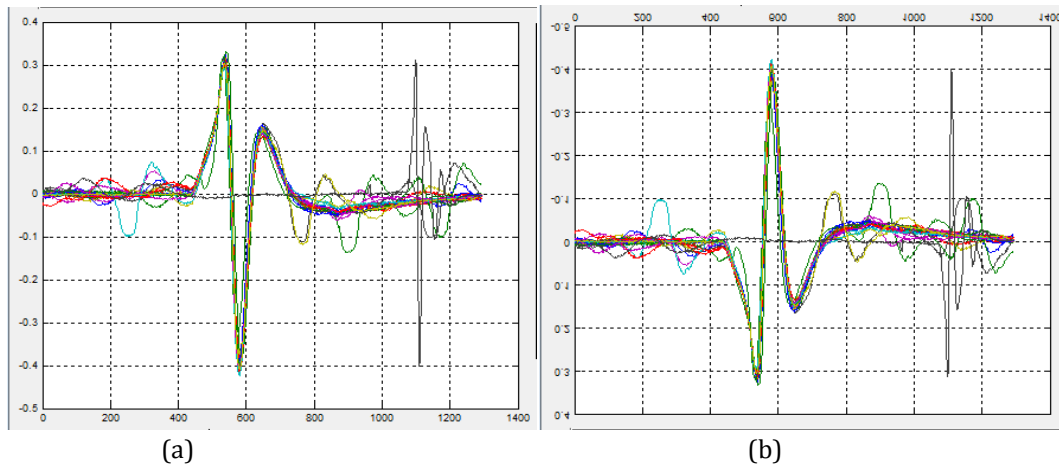
Cabe destacar dos casos especiales que deben ser mencionados dadas sus características, en ellos encontramos dos tipos de señales un poco diferentes, en las que como en el resto, la espiga principal no sigue las pautas generales.

Ambas son claro ejemplo de la complejidad y la necesidad de algoritmos más complejos para un análisis más óptimo y completo de este tipo de señales.

#### **d) Espiga del potencial invertida:**

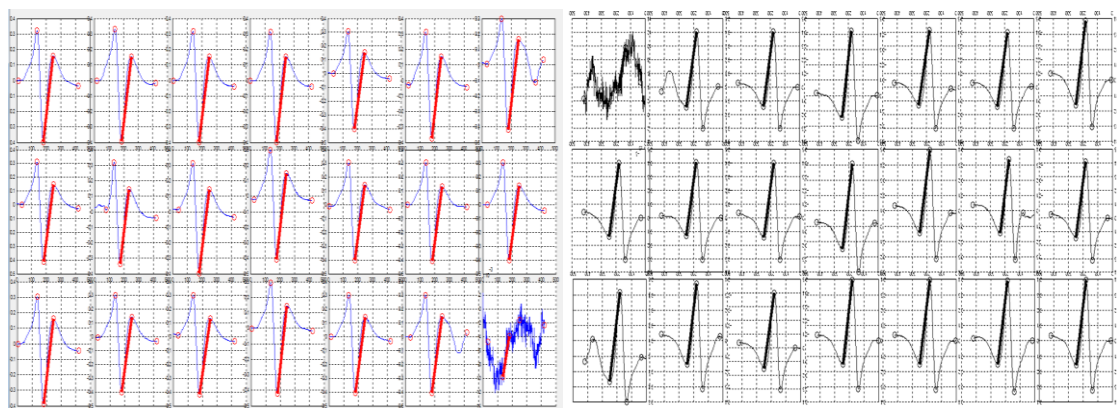
En el primer caso nos encontramos con una señal donde la espiga principal no está comprendida por el máximo de la señal y el mínimo anterior que le precede. Esto se debe a que esta señal parece estar invertida.

En la “Ilustración 68” donde tenemos la señal y su espejo (invertida horizontal y verticalmente) podemos apreciar este hecho, viendo claramente cuál sería la espiga principal de la señal.



**ILUSTRACIÓN 68:** (a) grafica de la señal “3PLBB51.mat”, correspondiente a un caso especial donde la espiga se encuentra invertida. (b) Misma señal invertida para ver como sería la espiga si esta no estuviese invertida.

Si nos fijamos en la señal invertida y en el resultado de las detecciones de las espigas principales de cada captura que se muestra en la “Ilustración 69”, parece que la detección de estas no está siendo correcta, pero en realidad sí. El código aportado realiza una selección correcta de la espiga dado que siempre se selecciona una espiga de pendiente positiva y amplitud/pendiente máxima sobre la señal que se tiene, no podemos saber si esta esta invertida o no, ya que para ello habría que analizar a detalle la señal, lo cual nos llevaría a necesitar un código complejo y adecuado para cada tipo de señal, siendo este casi diferente para cada una de ellas.



**ILUSTRACIÓN 69:** Espigas de la señal “3PLBB51.mat”, correspondiente a una señal invertida, con las espigas detectadas también invertidas para que sigan siendo una pendiente creciente.

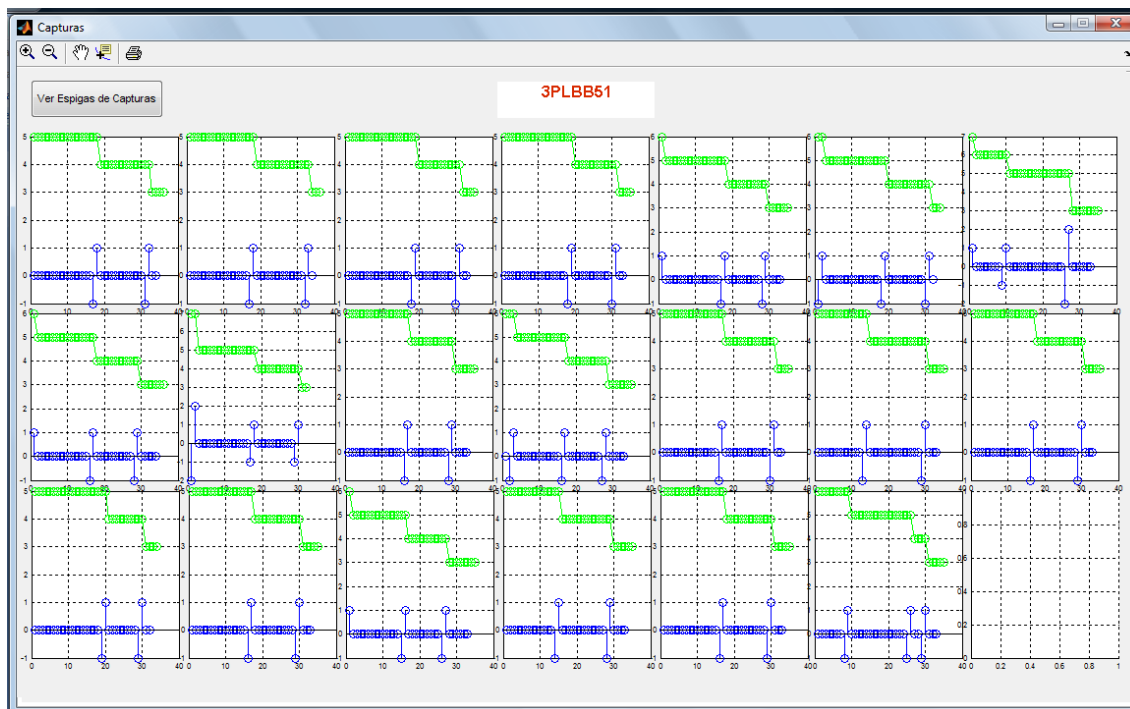


ILUSTRACIÓN 70: Segundas derivadas de cada una de las capturas de la señal “3PLBB51.mat”

Viendo la segunda derivada junto con la curva de caída del número de turns (“Ilustración 70”), podemos apreciar donde se encuentran las caídas más importantes del número de turns. Dichos picos nos marcarán el umbral que seleccionaremos para obtener la espiga principal.

#### e) Señal con muchos picos similares:

el segundo caso especial, es un buen ejemplo de la complejidad y la necesidad de un algoritmo más complicado y complejo. En este tipo de señales, nos encontramos que no existe una recta de amplitud/pendiente máxima clara, que pueda considerarse como espiga, por ello se ha llegado al acuerdo de la necesidad de buscar en ellas el mismo número de giros aproximadamente, y considerar como espiga la detección de las pendientes sobre cada par de giros mínimo-máximo, buscando el de

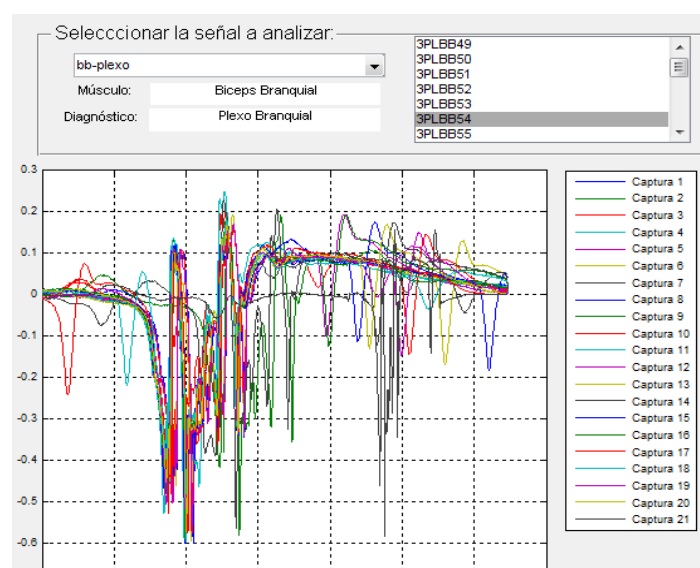


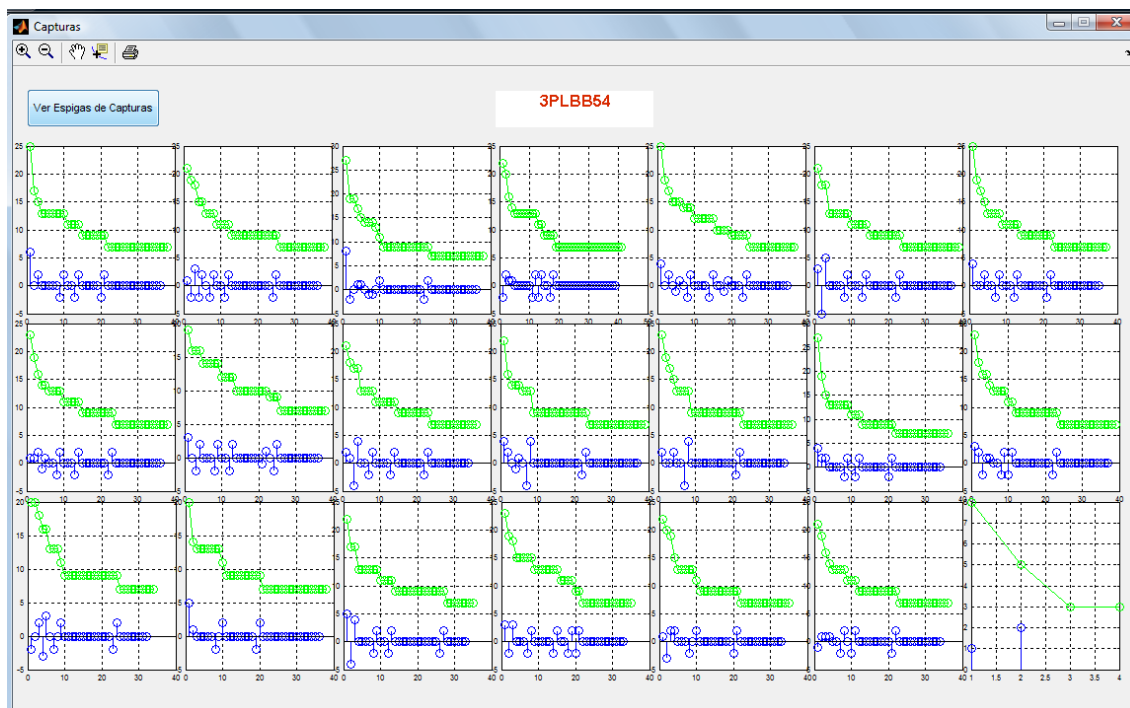
ILUSTRACIÓN 71: Grafica de una señal donde se encuentran diversos altibajos (posibles espigas) en el proceso de obtención de la espiga principal.



mayor amplitud y pendiente como para el resto de los casos.

En la “Ilustración 71”, podemos ver un ejemplo grafico de este tipo de señales complejas que no son comunes pero si posibles. En ella puede apreciarse una gran variabilidad entorno a la posible espiga, la cual no parece muy clara, puesto que tenemos un gran número de giros a lo largo de ella con amplitudes significativas, que se ven representadas en la segunda derivada.

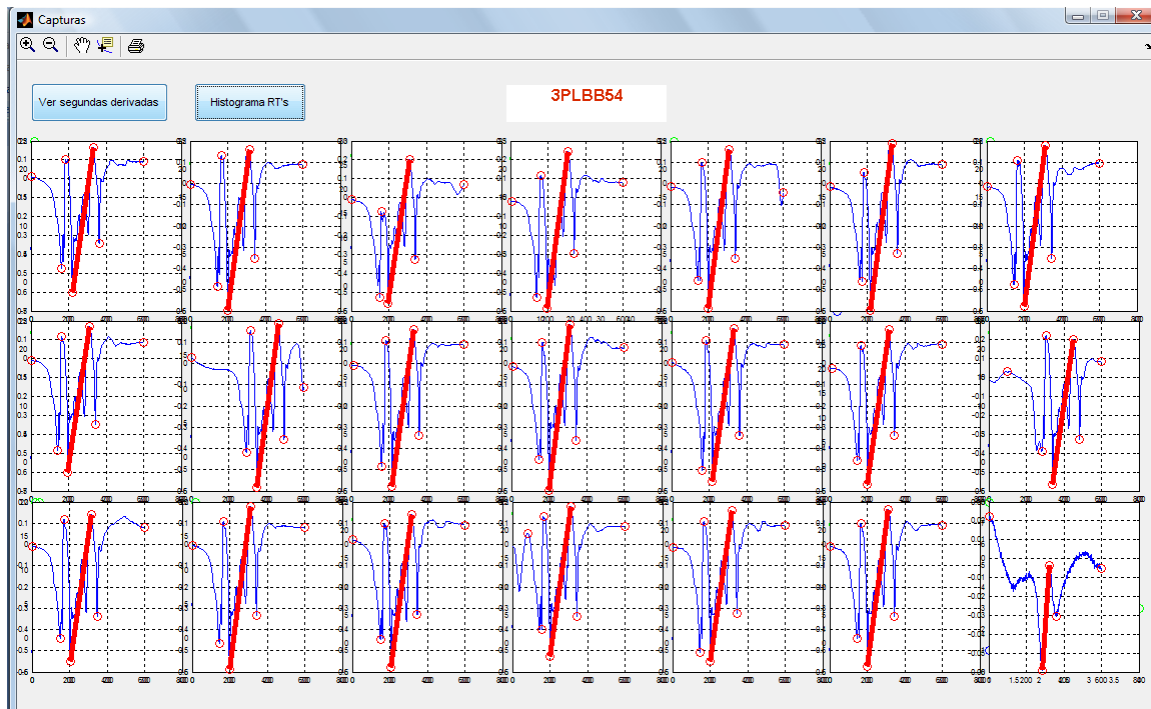
En esta, existen numerosos picos correspondientes a cambios bruscos del numero de turns entre umbrales consecutivos, estos son los puntos que nos interesan especialmente los de mayor amplitud que se encuentran últimos, hay que tener en cuenta que de forma general los picos de mayor amplitud en algunos casos se encuentran entre los cinco primeros datos, los cuales no nos interesan ya que pertenecen a un numero de turns excesivamente grande para lo que necesitamos. Cuanto mayor sea la amplitud de un pico mayor diferencia existe entre el número de turns que corresponden a los umbrales de esa posición y la siguiente.



**ILUSTRACIÓN 72:** Imagen de las segundas derivadas de cada una de las capturas de la señal “3PLBB54.mat”, correspondiente a un caso especial, donde existe varias posibles espigas.

En el resultado correspondiente al código propuesto, puede verse como en todas las capturas se seleccionan aproximadamente el mismo par de turns, siendo seleccionada como espiga la recta que conforma el par que posee amplitud máxima.

Aproximadamente este coincide en todas las capturas como bien puede verse en la “Ilustración 73” que se muestra a continuación.



**ILUSTRACIÓN 73:** Imagen de las espigas detectadas con el código propuesto de cada una de las capturas de la señal “3PLBB54.mat”, correspondiente a un caso especial, donde existe varias posibles espigas.

Se podría pensar en este caso, que la espiga que deberíamos seleccionar fuese el primer pico, en el cual no encontramos ningún otro contenido en él, pero este es de menor amplitud y además no comprende ni el mínimo ni el máximo de la señal, lo cual, se considera un punto imprescindible en la selección de las espigas de los potenciales.

### 3.4. CALCULO DE LA VARIABILIDAD DEL RISE TIME (RT)

#### 3.4.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

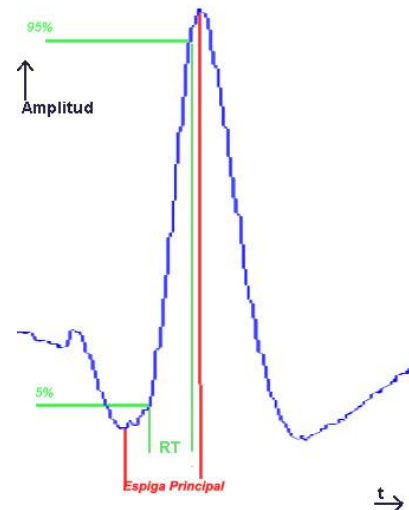
En la electrónica, al describir un voltaje o corriente de función escalón, el tiempo de subida se refiere al tiempo necesario para que una señal de un cambio de un bajo valor especificado a un alto valor especificado. Por lo general, en la electrónica analógica, estos valores son del 10% al 90% de la altura de paso.

El tiempo de subida es una característica del estímulo que permite diferenciar entre reflejos psiconfisiológicos.



Además nos da una pista importante en la determinación de la proximidad a la fuente del generador. La amplitud no puede servir para este propósito, ya que puede disminuir con las fibras musculares más pequeñas o menor densidad de fibra.

Las fibras relativamente más aeróbicas, tienen un “rise-time” relativamente más lento en su fuerza de contracción y de tetanización en comparación con las fibras mas glucolíticas de contracción más rápida. Así pues, un musculo compuesto en su mayoría de fibras musculares de contracción rápida, tendrá un tiempo de desfase más corto entre la señal EMG y la fuerza.



**ILUSTRACIÓN 74:** Muestra de una grafica simple de cómo obtenemos los RT de cada espiga detectada.

Consideramos el RT como el tiempo que tarda en la señal en el instante en el que se produce la espiga en pasar del 5% de la espiga al 95 % de la espiga.

Para la obtención mediante Matlab, se aplica la fórmula adecuada para su cálculo obteniendo sus respectivos resultados, los cuales pueden ser mostrados a partir de un histograma o función de densidad de probabilidad, como se muestra más adelante en el siguiente punto de estudio.

### 3.4.2. PROGRAMAS REALIZADOS

A partir de los resultados que se han obtenido para las espigas, calcularemos los RT de cada espiga de captura a través del código propuesto a continuación.

Antes de nada debemos dejar claro que las espigas de los potenciales no son lineales, con lo cual el RT no puede ser calculado directamente de la recta que hemos obtenido con los puntos de detección de la espiga, ya que esto es una recta virtual que se aproxima a la espiga pero, en realidad estas tienen una pequeña curvatura en el comienzo y final que debemos tener en cuenta para poder marcar cual es el cinco por ciento de subida de la señal y así mismo cual es el 95 por ciento.

```
%-----CALCULO DEL RT / REPRESENTACIÓN DEL HISTOGRAMA-----
% Modificación del RT ya que lo estamos considerando como si la subida
fuese lineal y no es así, tenemos pequeñas
% curvaturas en el inicio y final de la subida.
mine=vect_volt(espiga(2)); % Punto de Inicio de la espiga.
maxe=vect_volt(espiga(1)); % Punto final de la espiga.
```

```
v_espiga=vect_volt(espiga(1):1:espiga(2)); % seleccionamos el trozo
de señal que corresponde a la espiga.
porc5=(vect_volt(espiga(2))-vect_volt(espiga(1)))*0.05; % Amplitud
correspondientes el 5% de la subida suponiendo que es lineal.
% Buscamos donde se encuentra el 5% de la señal de subida
valor_5porci=vect_volt(espiga(1))+porc5; %Valor que suponemos que
tiene la espiga cuando ha subido el 5% de la señal
p5i=find(v_espiga>valor_5porci)+espiga(1)-1;
v5i=vect_volt(p5i);
v5=valor_5porci;
S=p5i(1);
if S>1;
    A=S-1; % posiciones de los valores que tenemos de señal
anterior y posterior al calculado para el 5%.
else
    A=S;
end
vS=vect_volt(S);vA=vect_volt(A); % valores para las posiciones
siguiente y anterior
pv5=(A*(v5-vS)+S*(vA-v5))/(vA-vS); %Posición calculada para el 5% de
subida
% Buscamos donde se encuentra el 95% de la señal de subida
valor_95porci=vect_volt(espiga(2))-porc5; %Valor que suponemos que
tiene la espiga cuando ha subido el 95% de la señal
p95f=find(v_espiga<valor_95porci)+espiga(1)-1;
v95f=vect_volt(p95f);
v95=valor_95porci;
A2=p95f(length(p95f));S2=A2+1; % posiciones de los valores que
tenemos de señal anterior y posterior al calculado para el 5%.
if A2==length(vect_volt);
    S2=A2;
else
    S2=A2+1; % posiciones de los valores que tenemos de señal
anterior y posterior al calculado para el 5%.
end
vS2=vect_volt(S2);vA2=vect_volt(A2); % valores para las posiciones
anteriores
pv95=(A2*(v95-vS2)+S2*(vA2-v95))/(vA2-vS2); %Posición calculada para
el 5% de subida
RT(k)=pv95-pv5;
```

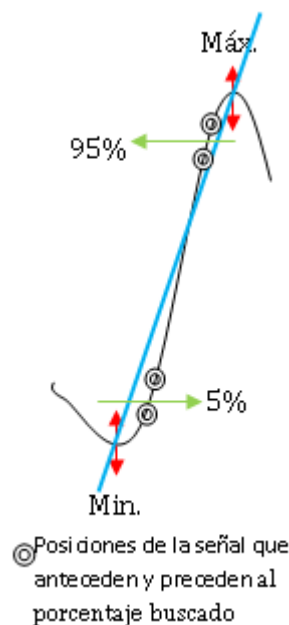
Con este código lo que se hace inicialmente es guardar en variables los valores del potencial correspondientes al mínimo y máximo de la espiga respectivamente (*mine* y *maxe*).

Para no trabajar con excesivos datos, y agilizar la ejecución de la aplicación, seleccionamos solo los datos del potencial pertenecientes a la espiga y los guardamos en la variable *v\_espiga*, además así nos evitamos que a la hora de buscar donde se encuentra el cinco por ciento y el noventa y cinco por ciento tengamos valores que no pertenecen a ella.

A continuación calculamos de forma lineal cual sería el valor correspondiente al cinco por ciento de la pendiente de subida de la señal (*porc5*), esto es, ya tenemos cuanto

debe subir la señal para alcanzar el cinco por ciento, pero como esto es lineal, para que todo el proceso sea correcto, ya que como hemos mencionado, las señales de las que disponemos no son lineales, tendremos que buscar en los valores de la espiga donde se encuentra dicho valor. Lo más probable, es que ningún dato de la señal corresponda exactamente con este dato, por lo tanto deberemos hacer una aproximación de dicho valor por interpolación.

Para realizar dicha aproximación, deberemos buscar en los datos del potencial que hemos seleccionado, desde el mínimo de la espiga hasta el máximo, donde se encuentra el primer dato que sea mayor que el dato que hemos calculado para el cinco por ciento de forma lineal (realmente se calculan todos los datos mayores para ese pero solo seleccionamos el primero que es el que nos interesa. Además también guardaremos el valor correspondiente a dicho dato.



**ILUSTRACIÓN 75:** Valores seleccionados para la obtención por interpolación de los tiempos correspondientes al 5% y al 95%, necesario para el cálculo de los RT de las espigas.

En este momento ya tenemos los valores y posiciones anterior y posterior en el potencial, del valor calculado correspondiente al cinco por ciento de subida de la señal. Ahora calculamos por interpolación el valor que corresponderá en la captura del potencial en posición al valor que se ha calculado de forma lineal para ese cinco por ciento, ya que con él y con el que calculemos posteriormente para el noventa y cinco por ciento de la señal podremos calcular el RT correspondiente a la captura en cuestión.

Antes de determinar la posición necesitaremos mirar si existe un valor antes del buscado a partir del cinco por ciento lineal, ya que en algunas capturas las cuales no se deberían de considerar debido a que sus características graficas no concuerdan con el resto de capturas, a errores de medición, del material de medición o por causas externas, los valores que encontramos mayores que el del

cinco por ciento más el mínimo de la espiga puede ser el primero de la señal, con lo cual si intentamos seleccionar uno antes nos da a dar error de acceso al cero. Si no existe ningún valor, es decir el valor siguiente tiene la posición uno lo dejaremos así.

En este momento ya tenemos los datos necesarios para calcular por interpolación la posición donde se encontraría dicho valor perteneciente al cinco por ciento de subida de la señal.

$$\frac{vA - v5}{A - i?} = \frac{v5 - vS}{i? - S} \rightarrow i? = \frac{A(v5 - vS) + S(vA - v5)}{vA - vS}$$

Lo siguiente que realizaremos, será lo mismo pero en este caso para el noventa y cinco por ciento de la señal, la variación con respecto al cinco por ciento, es que a la hora de buscar valores en vez de buscar los mayores del noventa y cinco por ciento buscaremos los menores y cogeremos el último de estos y el que le sigue posteriormente siempre y cuando este no sea el último valor de la espiga. Ya que como en el caso del cinco por ciento, en algunas señales nos dará error por no existir ningún valor que este después del último encontrado menor que el del cinco por ciento.

Una vez ya tenemos la posición donde se encontraría el cinco por ciento de subida de la señal y el noventa y cinco por ciento, hacemos la resta para calcular cuánto es la duración que transcurre entre ellos y a la que llamaremos RT.

Hemos podido comprobar que el cálculo de este parámetro es bastante sencillo, la dificultad de este punto se encuentra en realizar una buena representación de los datos obtenidos para cada captura, la cual realizaremos a través de histogramas, donde prevemos que el resultado será una aproximación, a una distribución normal de los valores, en la que en los potenciales para los cuales existen capturas erróneas (que no tienen información de la espiga y rasgos básicos de las señales EMG), se verán reflejados mediante datos marginales que deberemos de eliminar.

Para llegar a una buena presentación hemos seguido varios pasos hasta llegar al que nos representa solo la información útil y necesaria. Para ello se ha necesitado calcular un rango de datos de representación de las barras de los histogramas adecuadas para cada potencial ya que en cada uno de ellos la distribución de los valores del RT es diferente.

Para la representación grafica se ha creado el siguiente código.

```
aRT=min(RT):roundn((mean(diff(sort(RT)))),-2)*3:max(RT);
F=ksdensity(RT,aRT);
acum=hist(RT,aRT);
hist(RT,aRT);
title(strcat('INCREMENTO',num2str(((max(RT)-min(RT))/std(RT))/2)))
hold on;
plot(aRT,F*10,'y');
line([median(RT) median(RT)], [0 8], 'color','red', 'LineStyle','--', 'linewidth',2);
line([mean(RT) mean(RT)], [0 8], 'color','red', 'linewidth',2);
line([median(RT)-std(RT) median(RT)-std(RT)], [0 8], 'color','green', 'LineStyle','--', 'linewidth',2);
line([median(RT)+std(RT) median(RT)+std(RT)], [0 8], 'color','green', 'LineStyle','--', 'linewidth',2);
line([mean(RT)-std(RT) mean(RT)-std(RT)], [0 8], 'color','green', 'linewidth',2);
```

```

line([mean(RT)+std(RT) mean(RT)+std(RT)], [0
8], 'color', 'green', 'linewidth', 2);
xlabel('tiempo/muestras');
ylabel('Amplitud/voltaje')

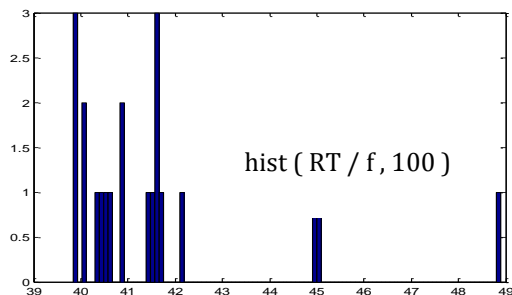
RT2=RT(find((RT<(median(RT)+std(RT)) & (RT>(median(RT)-std(RT)))));
aRT2=min(RT2:roundn(mean(diff(sort(RT2))), -2)*3:max(RT2);
F=ksdensity(RT2,aRT2);
acum=hist(RT2,aRT2);
hist(RT2,aRT2);
title(strcat('INCREMENTO', num2str((max(RT2)-min(RT2))/std(RT2)/2)));
hold on;
plot(aRT2,F*10,'y');
line([median(RT) median(RT)], [0 max(acum)-
1], 'color', 'red', 'LineStyle', '--', 'linewidth', 2);
line([mean(RT) mean(RT)], [0 max(acum)-1], 'color', 'red', 'linewidth', 2);
line([median(RT)-std(RT) median(RT)-std(RT)], [0
8], 'color', 'green', 'LineStyle', '--', 'linewidth', 2);
line([median(RT)+std(RT) median(RT)+std(RT)], [0
8], 'color', 'green', 'LineStyle', '--', 'linewidth', 2);
line([mean(RT)-std(RT) mean(RT)-std(RT)], [0
8], 'color', 'green', 'linewidth', 2);
line([mean(RT)+std(RT) mean(RT)+std(RT)], [0
8], 'color', 'green', 'linewidth', 2);
xlabel('tiempo/muestras');
ylabel('Amplitud/voltaje');

```

Comenzaremos representando primeramente todos los datos, incluidos los marginales. Después de probar con mucho valores para el incremento del RT finalmente se ha decidido calcular un valor a partir de los datos de los RT de la captura en estudio con el cual para prácticamente la mayoría obtenemos una representación bastante buena.

### 3.4.3. RESULTADOS OBTENIDOS

Se ha realizado una representación en forma de histograma de la distribución de los valores de los RT de cada una de las señales. Estas distribuciones deducimos y comprobamos en los ejemplos que se acercarán a una distribución normal de los valores, aunque en muchos casos tenemos valores fuera, dichos valores corresponden a datos de casos extremos, los cuales generalmente no se tendrán en cuenta para un posterior estudio ya que no siguen el patrón del resto de capturas.



**ILUSTRACIÓN 76:** Ejemplo gráfico de un histograma correspondiente a los RT de las capturas de una señal, donde el rango de valores se ha dividido en 100 tramos del mismo tamaño.

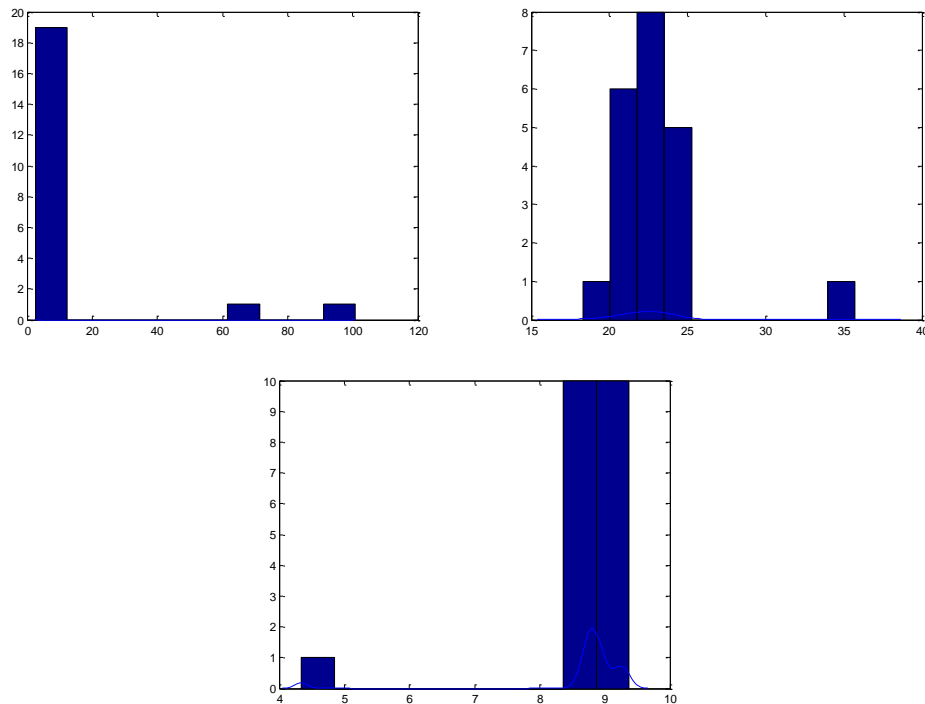
Existen ejemplos donde se muestran las espigas de cada captura de un potencial y la distribución de valores de RT con ksdensity() y el histograma de los RT, podemos ver que las señales tienen espigas de diferentes amplitudes y rangos temporales, lo que lleva a que también tengan

diferentes valores para el RT y el histograma de su distribución sea un histograma donde tenemos muchos rangos de valores que se da en muestra señal. Esto es debido a que en esta señal tenemos uno de los casos que hemos marcado anteriormente en la detección de la espiga como errónea o caso a estudiar más exhaustivamente, ya que en el transcurso de esta espiga encontramos un pico que en algunos casos es detectado pero en otros no cogiendo a veces la espiga entera y otras trozos de esta espiga.

De carácter general, la mayoría de los histogramas tienen una distribución que se acerca a la normal, esto puede verse más claramente en la representación realizada con la función `ksdensity()` donde vemos la campana donde se distribuyen la mayoría de los valores del RT de cada potencial.

Anteriormente cuando representábamos el histograma de los valores del RT, no indicábamos el rango de datos que queríamos representar sino que dejábamos que lo hiciera con el que la función pone por defecto indicando únicamente el número de rango de datos que queríamos, así la función divide en partes iguales el rango total con ese número.

Por defecto la representación para varias de las señales cualesquiera de las que tenemos es:

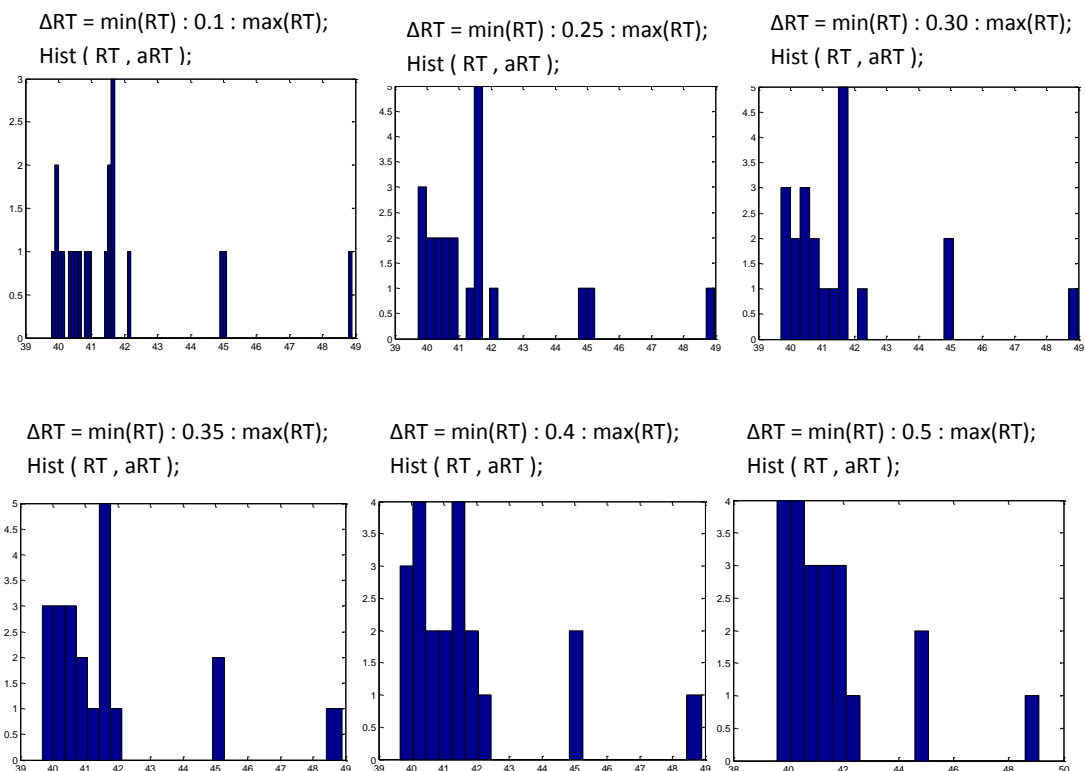


Como podemos apreciar existen determinados rangos que no poseen ningún valor, con lo que deberemos modificar dicho rango para que esto no ocurra, además de escoger intervalos muy grandes donde no podemos apreciar la información contenida.

La forma más correcta de indicar el rango sería poniendo que sea desde el valor mínimo del RT hasta el valor máximo del RT con un incremento proporcional al valor de Ts (periodo de muestreo igual a 0.0005 para todas las señales que poseemos).

Claro está que este incremento no va a ser igual para todas las señales ya que los valores de RT cambian para cada una de ellas.

Haremos una prueba de cómo se modifica el histograma modificando el incremento de RT y viendo los resultados.



**ILUSTRACIÓN 77:** Histogramas de los RT de cada captura de una señal representados con varios valores distintos de intervalos, indicados sobre cada uno de ellos.

Podemos apreciar que la distribución del histograma varía bastante según el valor de  $\Delta RT$ , y que según vamos aumentándolo, los rangos que antes teníamos vacíos van desapareciendo, de los ejemplos anteriores vemos que los que más se acercan a una representación buena son los que tienen un incremento de RT de 0.35 a 0.5, casos en



los que los rangos vacíos ya han desaparecido exceptuando los que separan de valores marginales (correspondientes a errores posibles en la detección de la espiga principal o que la señal no nos sirve para el estudio).

Aunque el penúltimo, correspondiente al incremento de RT igual a 0.4, es el que más se parece a la representación que a continuación haremos con la función `ksdensity` la cual hace una estimación de la representación de la densidad de probabilidad de los valores de RT dados.

### Ksdensity

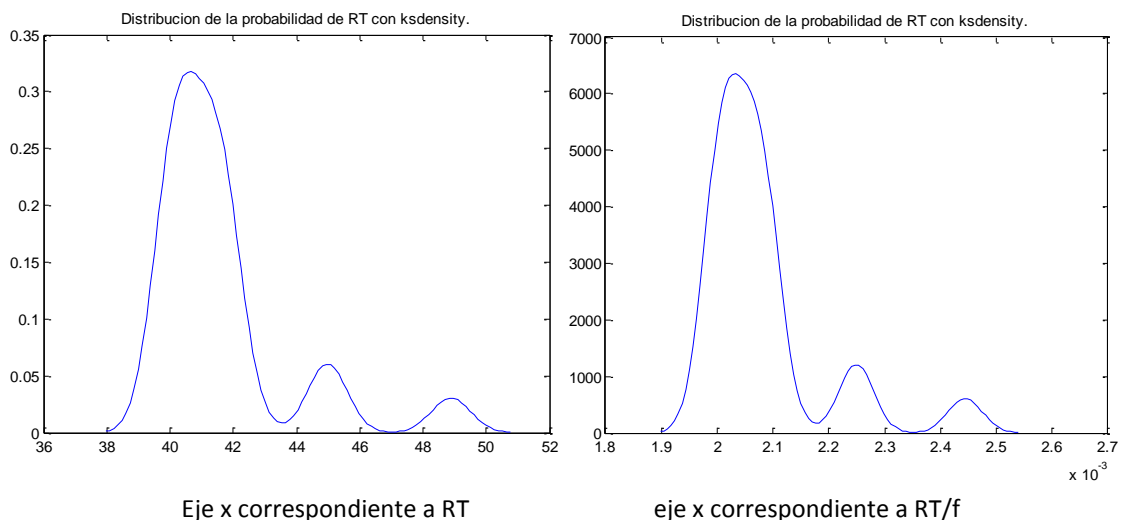
Esta función representa una aproximación de la distribución de probabilidad de los datos introducidos.

Al igual que en el histograma si no ponemos ningún parámetro y nada más indicamos los valores, el elige por defecto 100 puntos que cubren el rango de valores dado. La estimación se basa en una estimación normal, usando un ancho de banda que es el número de puntos de la función indicada  $x$ .

De la señal que antes hemos puesto como ejemplo, la representación de la función `ksdensity` () sin valores añadidos da como resultado la siguiente imagen:

Las líneas de código utilizadas para esta representación son:

```
[f,xi] = ksdensity(RT/f);
figure(10);
plot(xi,f);
title('Distribución de la probabilidad de RT con ksdensity.');
```



**ILUSTRACIÓN 78:** Ejemplos del resultado que se obtiene de aplicar la función `ksdensity` () una lista de valores de RT de una señal.

En estas dos imágenes de arriba podemos ver que el rango de valores va desde aproximadamente 38-50 y 1.9-2.5 en cada una de las imágenes respectivamente. Este rango es mayor que el rango de valores que tenemos en la señal ya que el valor mínimo de RT es 39.8465 y el valor máximo de RT es 48.8878 y aquí nos representa un poco más, suponemos para terminar las curvas que corresponden a cada concentración de datos.

Se ve claramente que la mayor concentración de datos corresponde al primer pico.

Una vez hemos visto la representación que Matlab hace por defecto con esta función vamos a ver como se modifica introduciendo datos y de esta manera hacemos que la representación sea más fiel con los datos que estamos estudiando.

Al igual que en la función `hist()`, aquí también podemos indicar un rango de valores y el incremento que queremos que utilice para realizar este. De esta manera este rango será el mismo que el indicado en la función `hist`.

Así mismo el código introducido será el siguiente:

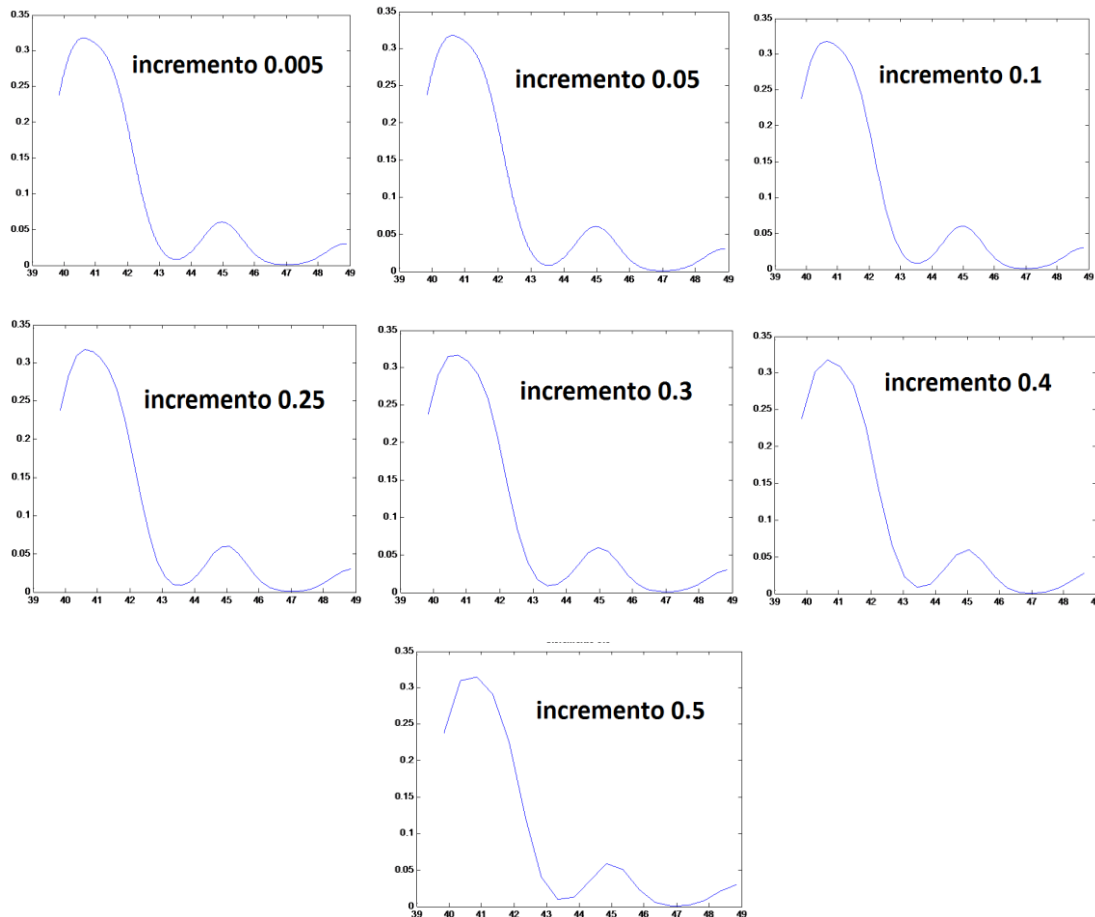
```
figure(100);  
aRT=min(RT):0.005:max(RT);  
F=ksdensity(RT,aRT);  
plot(aRT,F);
```

A continuación vamos a ver dos ejemplos correspondientes a señales de diferentes características en las cuales en una tenemos solo el pico de la espiga y en la otra tenemos muchos picos que dan lugar a distintas espigas.

Para ir viendo los diferentes resultados iremos modificando el incremento utilizado para crear el parámetro `aRT`, el cual define el rango de datos para la aplicación de la función.

Como ya hemos comentando, necesitaremos que el incremento que estamos poniendo sea proporcional a  $T_s$  (correspondiente a 0.05).

Vamos a empezar poniendo un valor muy pequeño, lo que hará que la función `ksdensity` coja muchos puntos de la señal para la evaluación.

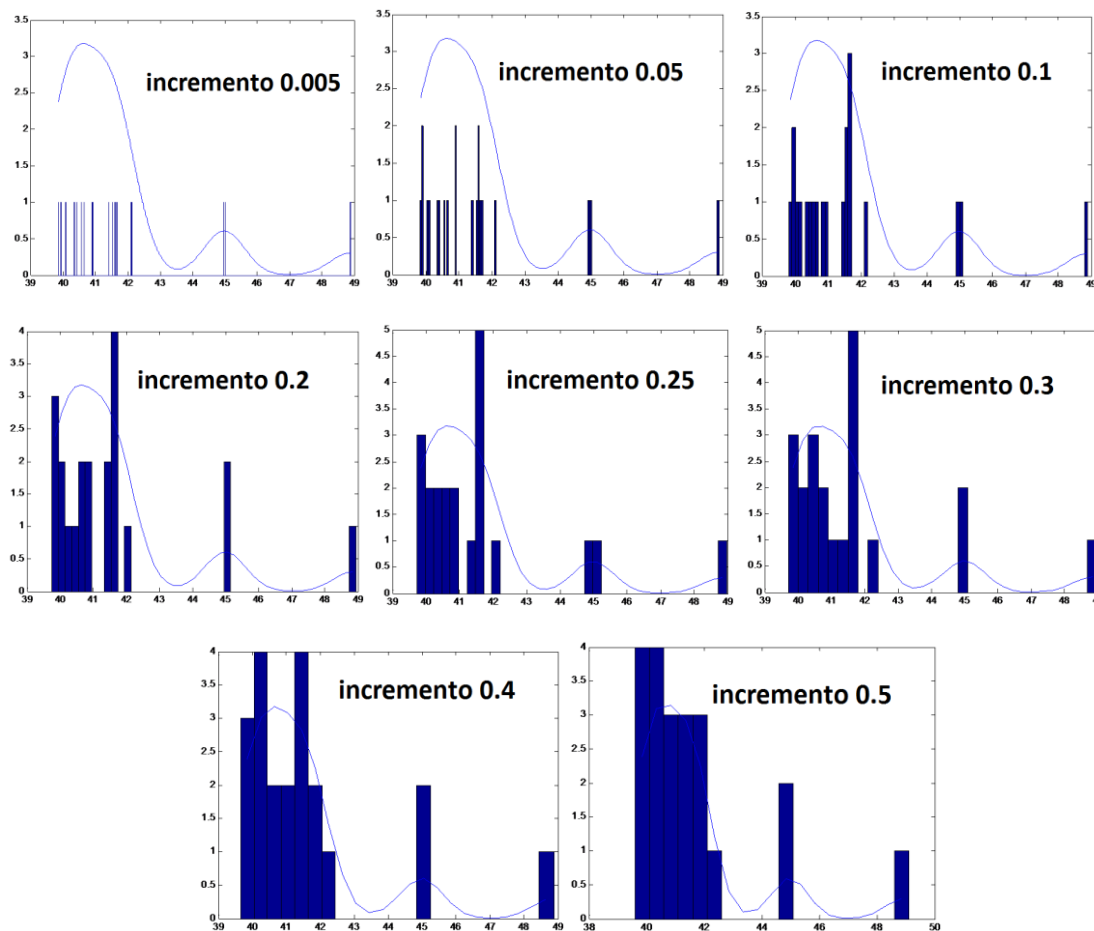


**ILUSTRACIÓN 79:** Resultados gráficos de la función ksdensity para distintos rango de representación de los valores de RT de una señal, cuanto mayor es el incremento de representación menor valores se utilizan y por tanto la señal tiene cambios más brusco pero siguiendo el mismo patrón.

Vemos como a medida que hacemos el incremento más grande la estimación se hace para menos puntos y el resultado es una señal con cambios más bruscos.

Si comparamos esta representación con la obtenida con la función hist podemos ver que son parecidas.

A continuación vamos a ver varias graficas donde se superponen la representación de los RT con la función hist y con la función ksdensity () correspondientes al mismo rango de datos y mismo incremento.



**ILUSTRACIÓN 80:** Ejemplos gráficos de la relación existente entre el histograma de los RT y el resultado obtenido de la función ksdensity (). En cada ejemplo, el incremento utilizado en cada rango de representación es el mismo para ambas funciones.

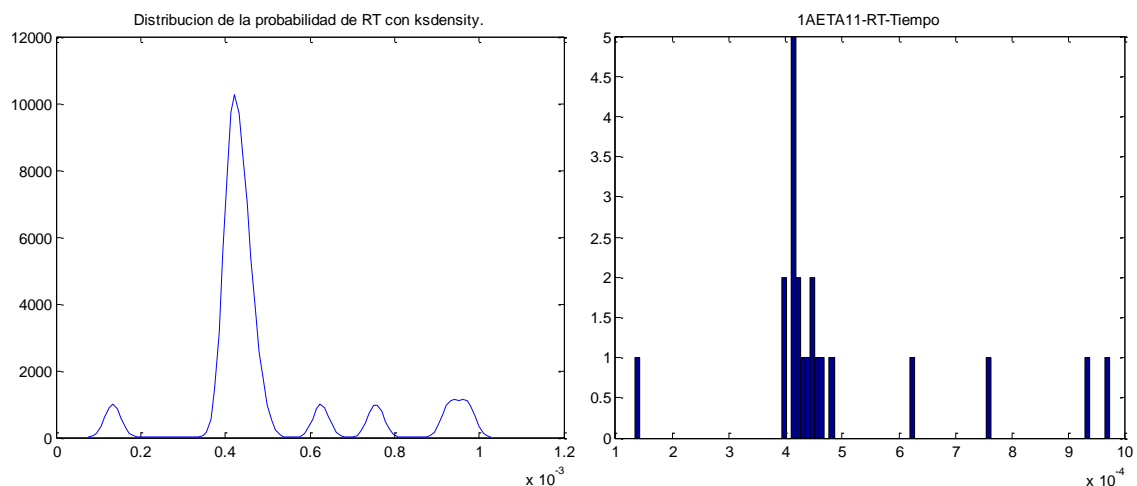
Podemos apreciar que los diferentes puntos de las curvas que genera la función ksdensity () abarcan las distintas barras de datos que genera el histograma, viendo que es bastante aproximada una representación con la otra.

Si tuviésemos que elegir alguna, a simple vista parece que la que tiene un incremento de 0.5 es una representación donde se aprecia muy bien donde se concentra la mayor parte de la información correspondiente a los RT.

Como bien comentamos en la parte correspondiente a los histogramas este incremento no nos va a servir para todas las señales ya que todas no son iguales y su distribución de los RT tampoco. Aunque puede que para algunas, sí que sea el mismo. Este dato habrá que estudiarlo de manera que para cada conjunto señales que tengan propiedades en común sea un dato igual

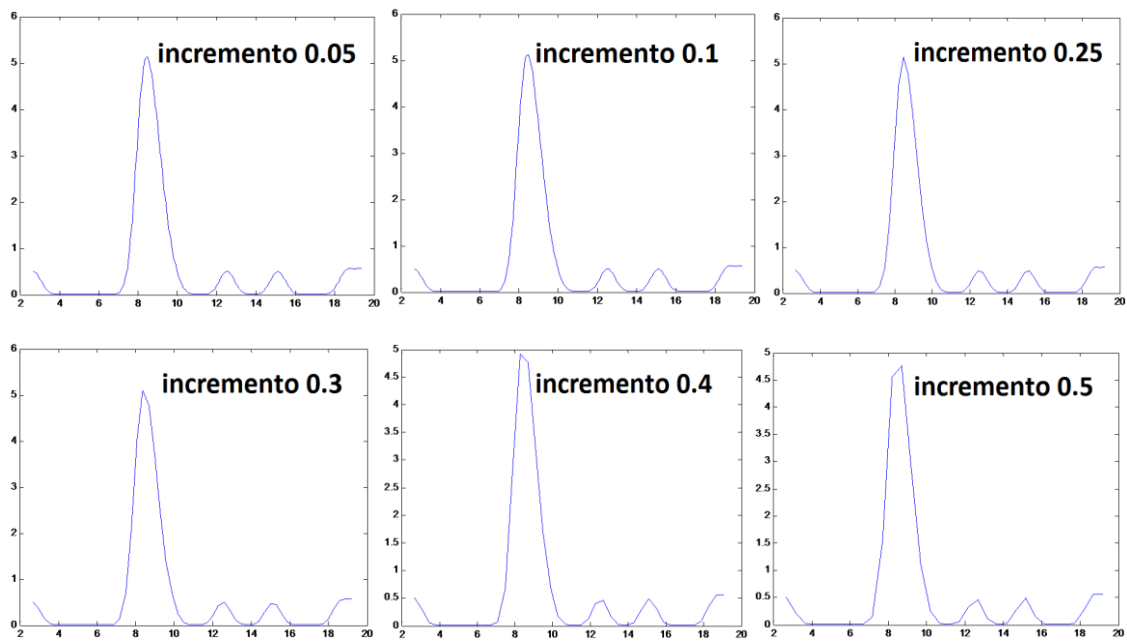
Un segundo ejemplo que nos verifica que estos valores no van a ser iguales o si para todas las señales:

Representaciones por defecto de las funciones hist () y ksdensity ().

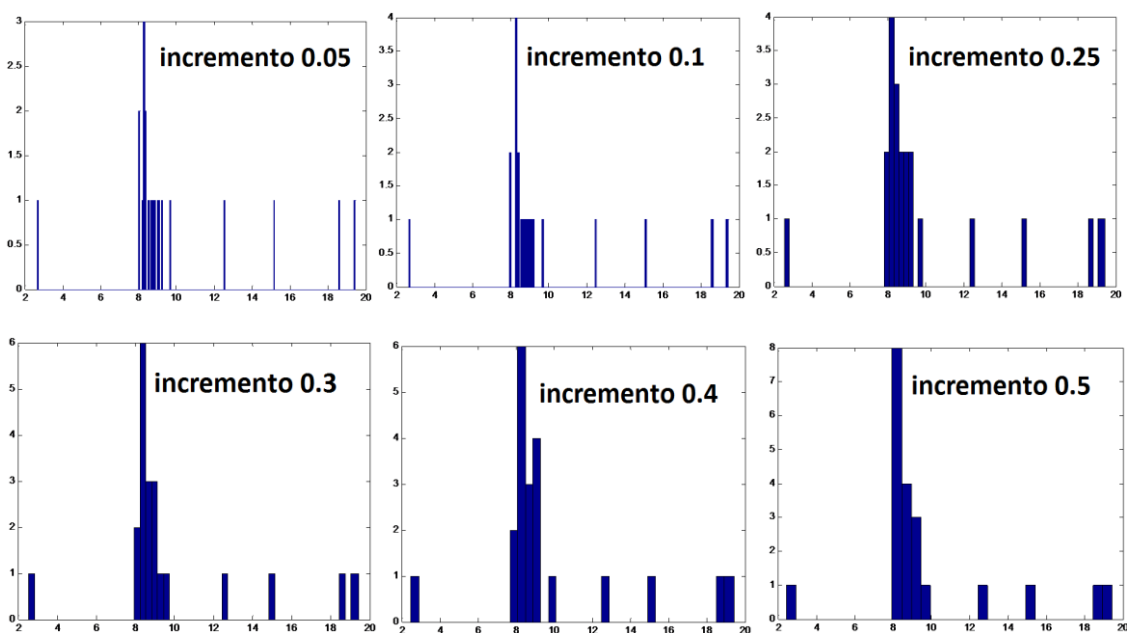


**ILUSTRACIÓN 81:** Representación por defecto del histograma y la función ksdensity, para una señal donde los valores están muy alejados entre sí.

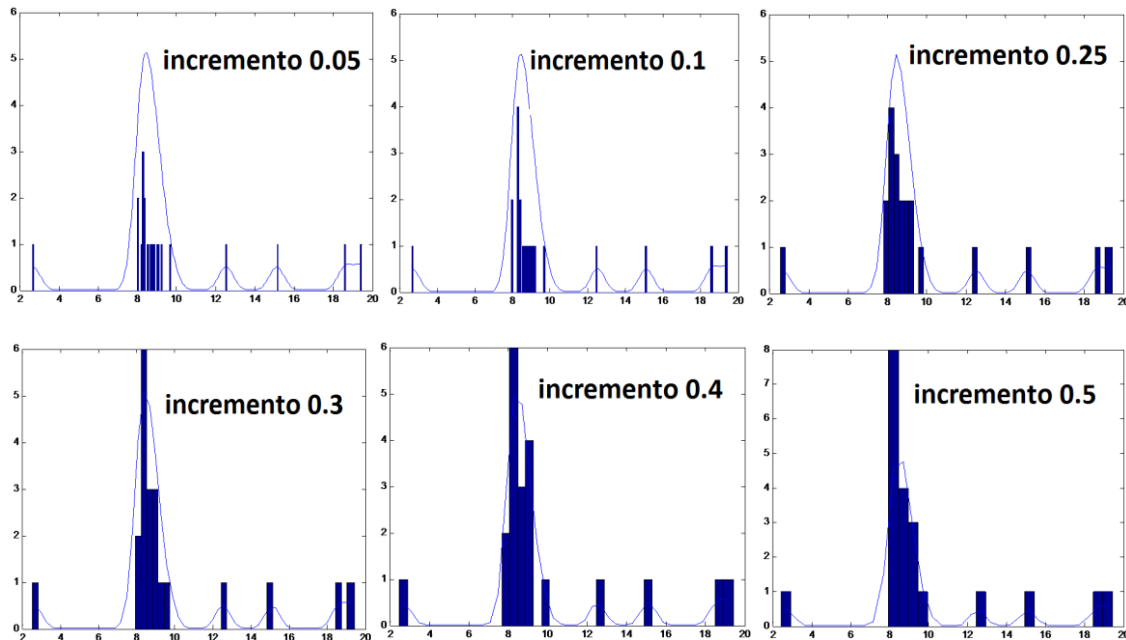
Ahora mostraremos como cambian cada una de las funciones respectivamente para distintos valores de incremento de RT, en la “Ilustración 81” para la función ksdensity() y en la “Ilustración 82” para la función que nos da como resultado el histograma de los datos introducidos, así como en la “Ilustración 83” ambas funciones representadas conjuntamente.



**ILUSTRACIÓN 82:** Graficas de la función `ksdensity()` con distintos incrementos entre intervalos. Se ha omitido el incremento correspondiente a 0.005 ya que su representación era casi igual que la de 0.05, ya que son valores muy pequeños y en este caso la diferencia no se aprecia.



**ILUSTRACIÓN 83:** Histogramas para diferentes anchos de intervalos. Podemos ver que a medida que el intervalo aumenta la mayor parte de valores se concentra entre dos valores. Se ha omitido el histograma correspondiente al intervalo 0.005 ya que cada valor caía en un intervalo distinto, con lo cual no nos aportaba información.

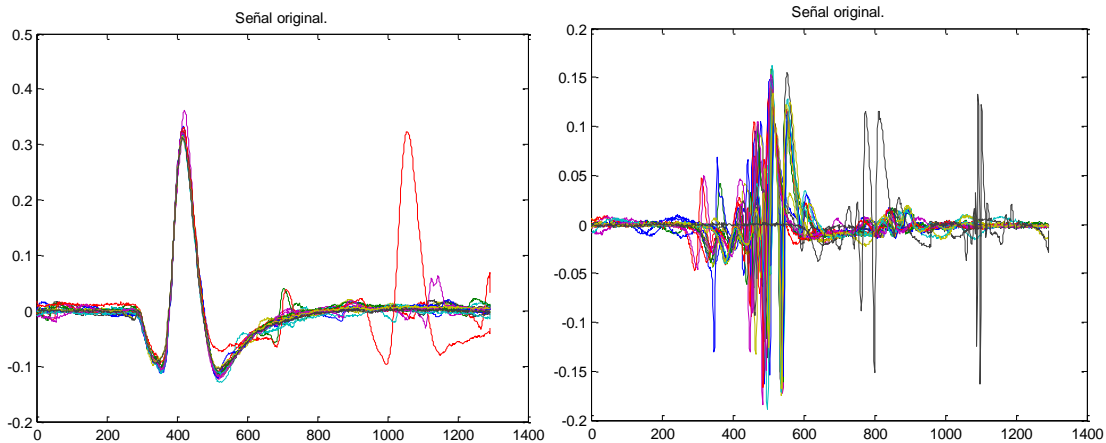


**ILUSTRACIÓN 84:** Histograma junto con función `ksdensity()`, para diferentes anchos de intervalos. Podemos ver que a medida que el intervalo aumenta la mayor parte de valores se concentra entre dos valores. Se ha omitido el histograma correspondiente al intervalo 0.005 ya que cada valor caía en un intervalo distinto, con lo cual no nos aportaba información así mismo en estas graficas vemos la correspondencia ente ambas representaciones.

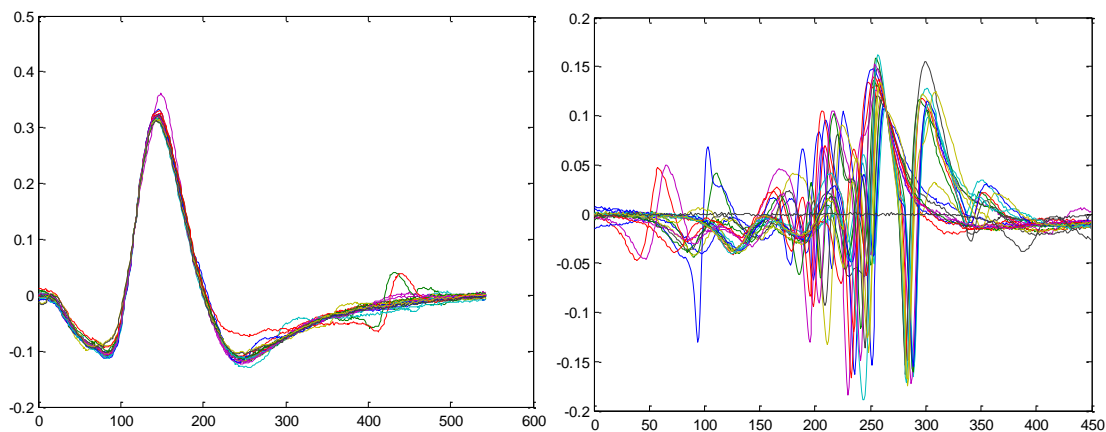
En este caso podemos ver que el valor que más se acercaría a una representación buena de cómo varia el valor de RT para cada una de las capturas de la señal también corresponde a aproximadamente 0.5 igual que en el caso anterior, luego necesitaríamos ver algún otro ejemplo en el que este valor no sea válido para la representación de la distribución de los valores de RT.

Vamos a ver lo que ocurre con dos casos que a simple vista parecen totalmente distintos, lo que nos lleva a pensar que los resultados obtenidos de los RT de las capturas van a ser diferentes para cada caso.





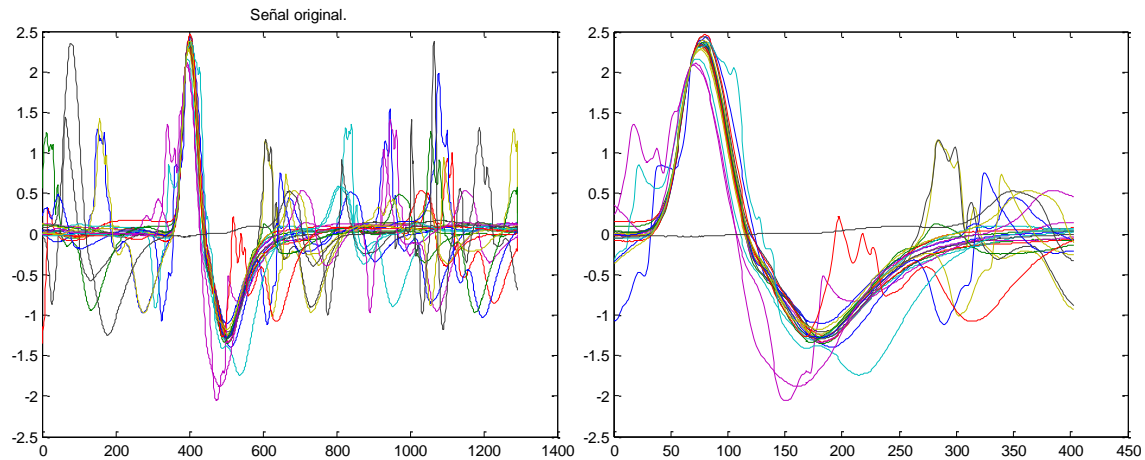
**ILUSTRACIÓN 85:** Gráficas de dos señales muy diferentes a simple vista, de las cuales calcularemos los RT para ver cuáles son los resultados para cada una de ellas.



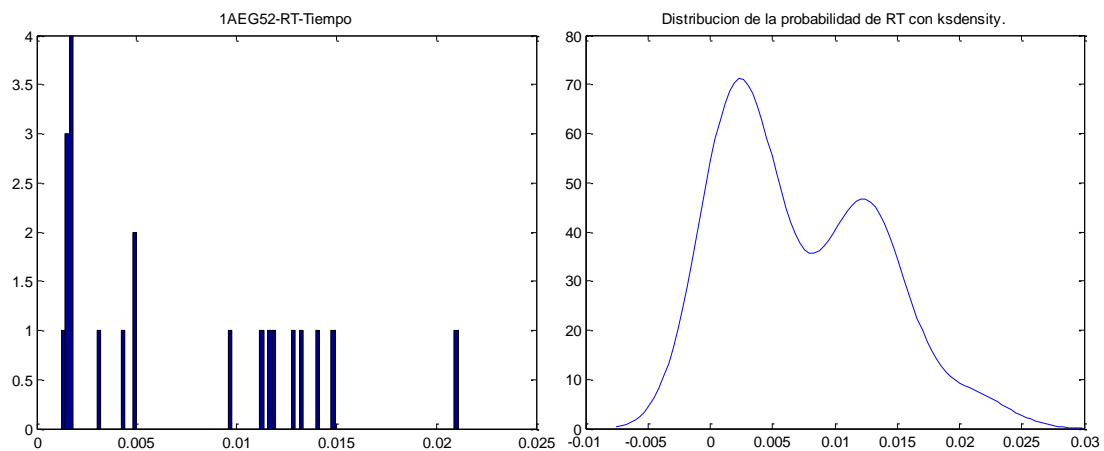
**ILUSTRACIÓN 86:** Gráficas de las señales anteriores recortadas.

Se puede apreciar que las señales seleccionadas para los ejemplos no son nada parecidas, ya que la primera la mayoría de las capturas son muy similares luego si la espiga principal está correctamente detectada tendremos valores para RT muy parecidos, y el segundo ejemplo las capturas del potencial son muy dispares, aunque en cierta medida, si la espiga principal del potencial si está bien detectada también vamos a tener valores de RT parecidos.

Vamos a buscar un ejemplo en el que sepamos que alguna captura es diferente y que vamos a tener valores muy diferentes de RT, lo que nos tiene que llevar a que el valor de momento obtenido para el incremento de RT no nos sea válido, de este modo, verificamos que el incremento de RT será diferente para cada señal dependiendo de cómo sean las capturas.



**ILUSTRACIÓN 87:** Gráfica propuesta para verificar que el incremento que antes hemos pensado como bueno para la representación del histograma, en realidad no nos sirve para todas las señales.



**ILUSTRACIÓN 88:** Representaciones por defecto de las funciones `hist()` y `ksdensity()` para la señal seleccionada.

Ya aquí podemos ver que los valores de RT son muy diferentes entre sí, esto es debido a que la señal que estamos utilizando como ejemplo tiene capturas que son muy diferentes y a demás incluimos una mala selección de las espigas principales en cada captura ya que si mirásemos su detección veríamos que no está bien obtenida para todas.

A continuación mostramos los histogramas y las funciones `ksdensity` para los mismos valores que lo hemos hecho anteriormente y veremos que el resultado no es bueno para un incremento de RT de 0.5.

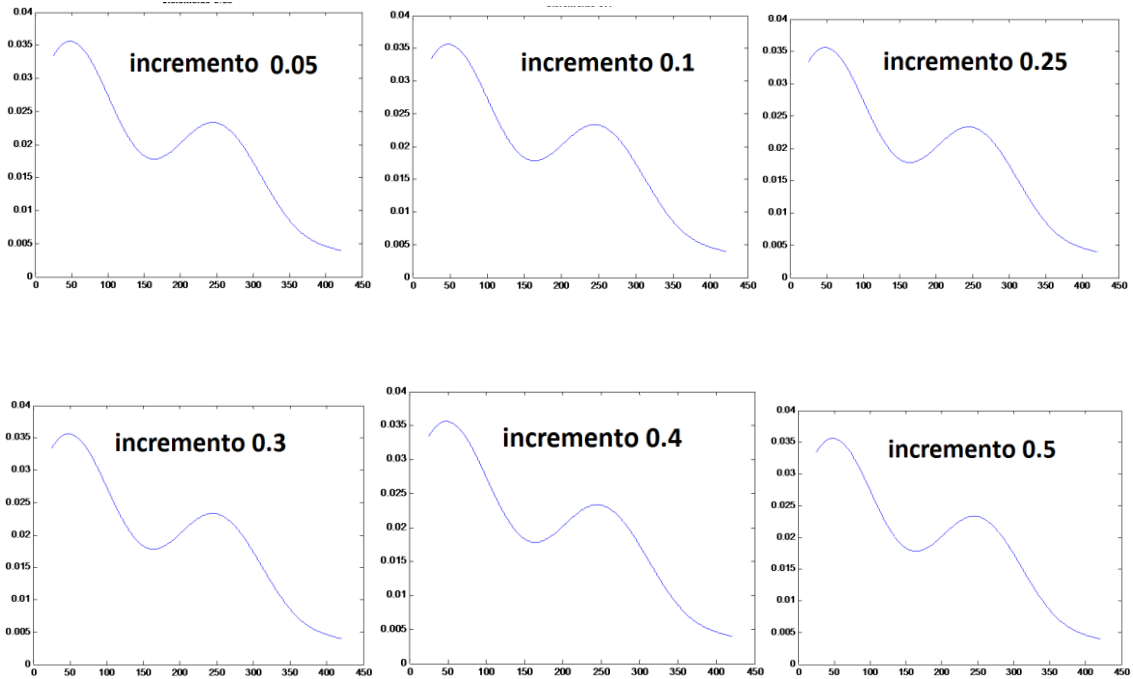


ILUSTRACIÓN 89: Resultados obtenidos de la función ksdensity para la señal elegida.

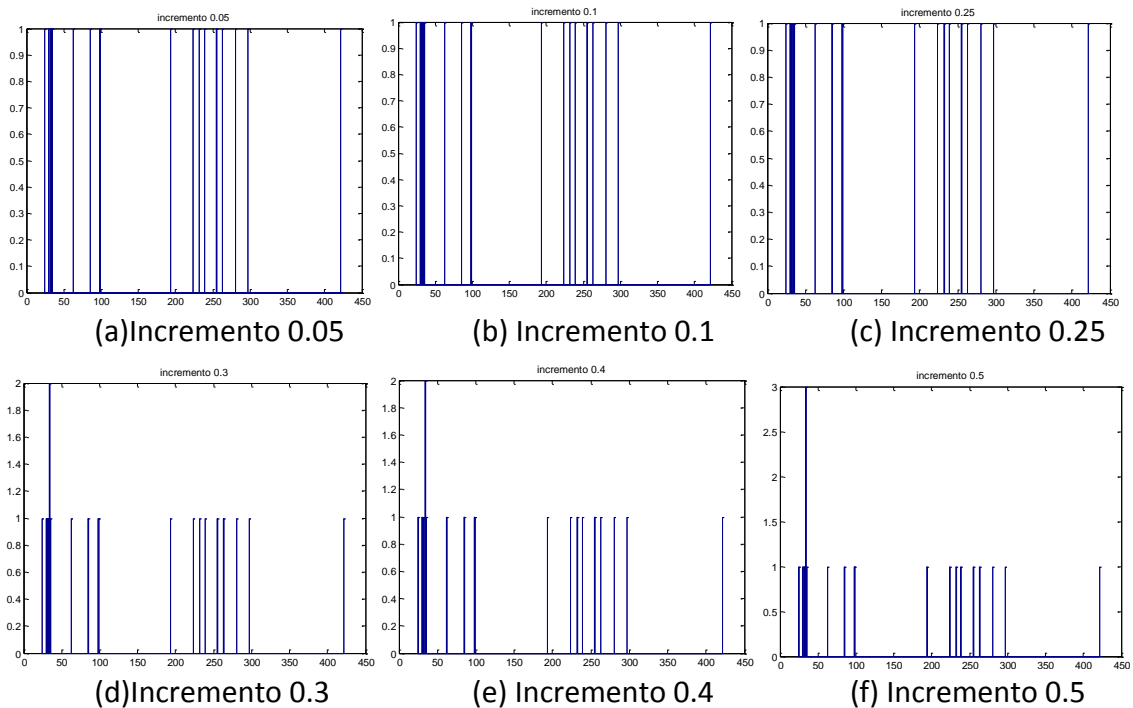
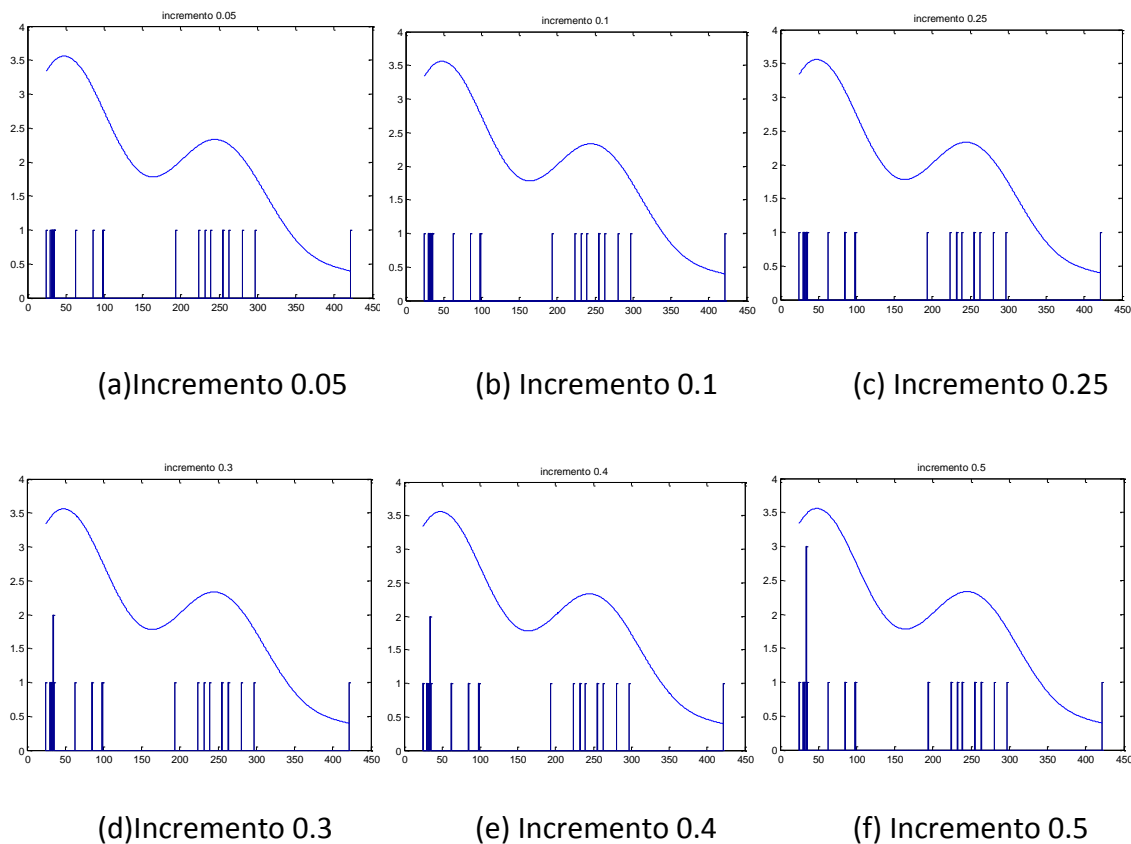
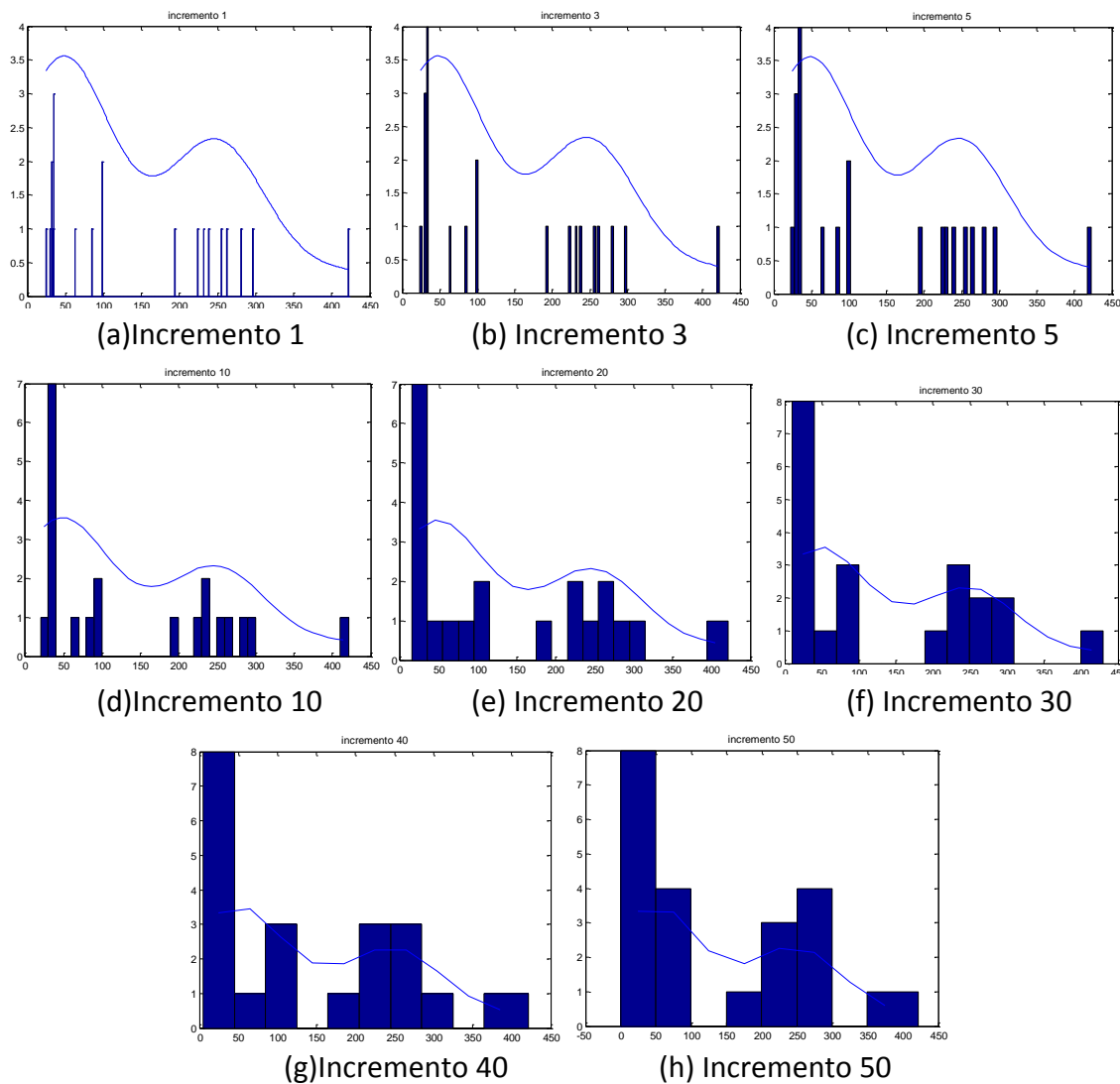


ILUSTRACIÓN 90: Histogramas de los RT obtenidos para cada incremento de intervalo en la representación indicado.



**ILUSTRACIÓN 91:** Histograma junto con la función de probabilidad que nos da `ksdensity()`, para los intervalos de representación indicados en cada grafica de la señal elegida para el estudio.

Podemos ver que el resultado de aplicar la función `ksdensity()` también abarca al histograma si lo multiplicamos por 1000, pero aun así los valores del histograma están muy distanciados con muchos huecos entre si lo que hace pensar que tenemos que buscar un valor de incremento de RT mayor que 0.5 para que el histograma esta correctamente representado.



**ILUSTRACIÓN 92:** Nueva representación grafica del histograma junto con la función ksdensity () para otros valores de intervalo de representación donde el resultado final es más favorable que en los casos anteriores.

En este ejemplo viendo las siguientes representaciones con números más grandes para incremento de RT podemos ver que el valor que mejor representaría la distribución de estos estaría entre el 30 y el 40, donde las barras del histogramas están todas juntas y se puede ver bien donde está la mayor concentración de información.

Luego con este ejemplo hemos verificado que no para todas las señales el incremento de RT va a ser igual, ya que este incremento va a depender de cómo sean las señales de la captura. Si nos fijamos bien en los datos de los tres ejemplos puestos tenemos como resultados los indicados en la “Tabla 6” donde se muestra el dato correspondiente al mínimo y máximo valor de RT, el rango de datos y la desviación de los tres ejemplos gráficos que se han ido comentando hasta ahora.

	Mínimo	Máximo	Rango datos	Desviación
<b>Ejemplo 1</b>	39.8465	48.8878	9.0413	2.1870
<b>Ejemplo 2</b>	2.6836	19.4243	16.7407	3.7563
<b>Ejemplo 3</b>	24.7215	421.86	397.1385	119.5611

TABLA 6

Con esto podemos ver que este hecho puede ser debido al amplio rango de datos que tenemos en el ejemplo tres lo cual nos lleva a que el incremento de RT necesario para una buena representación del histograma sea mucho mayor que en los otros dos ejemplos donde el rango de datos es mucho menor y similar entre ellos.

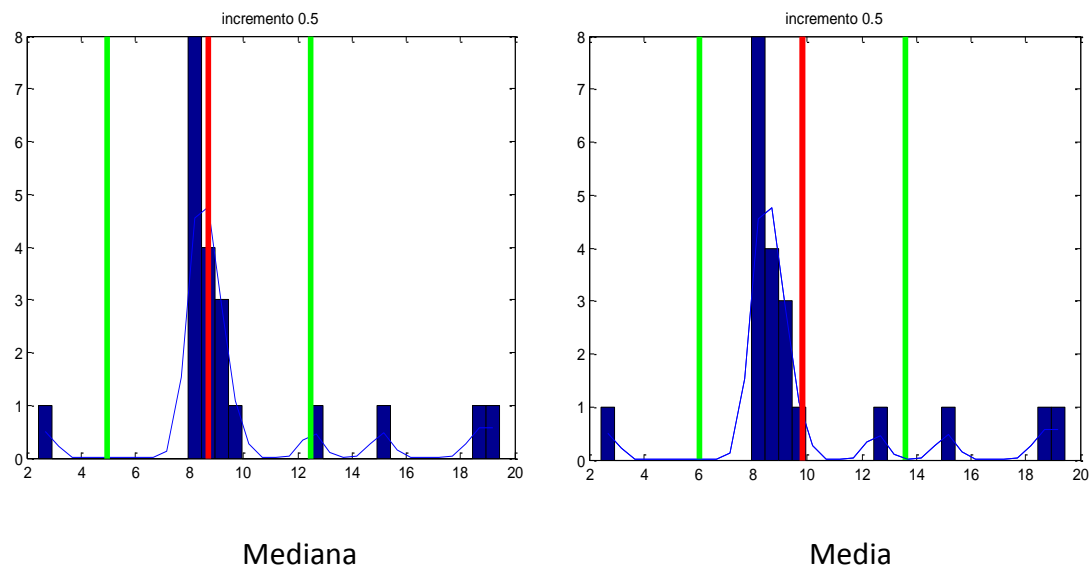
Luego a la hora de determinar cuál va a ser el incremento para RT en la representación de los histogramas utilizaremos los datos arriba mencionados en la tabla, los cuales nos ayudaran a saber si se va a tratar de un valor grande o pequeño, pero siempre proporcional al periodo de muestreo, o intentándolo.

Por ello deberemos optimizar el valor de  $\Delta RT$  y obtener una ecuación que sea válida para todas las señales y nos diga cuál será dicho valor.

## ELIMINACIÓN DE LOS VALORES MARGINALES EN EL HISTOGRAMA & KSDENSITY

Para eliminar los valores marginales que tenemos en los histogramas de muchas de las señales, los cuales corresponden a capturas desechables, en las cuales el valor de RT no cumple las características del resto, o porque el cálculo de la espiga principal está mal realizado. Vamos a ver cuáles son los datos que necesitaremos para eliminar dichos valores.

A continuación vamos a representar dos graficas en las cuales marcaremos en una la media con las desviaciones estándar a ambos lados y en otra la media con sus respectivas desviaciones estándar a ambas lados igualmente.



**ILUSTRACIÓN 93:** Representación del histograma, función ksdensity y marcados en una la media  $\pm$  desviación en verde y solo la media en rojo, y en la otra la mediana  $\pm$  desviación en verde y en rojo la mediana para un incremento de 0.5 en el intervalo de representación.

Como se puede apreciar en las imágenes superiores, si cogemos la media de la señal para obtener el rango de datos que queremos filtrar de los RT, se aprecia que obtendríamos un valor marginal, el cual no es nuestro fin obtener.

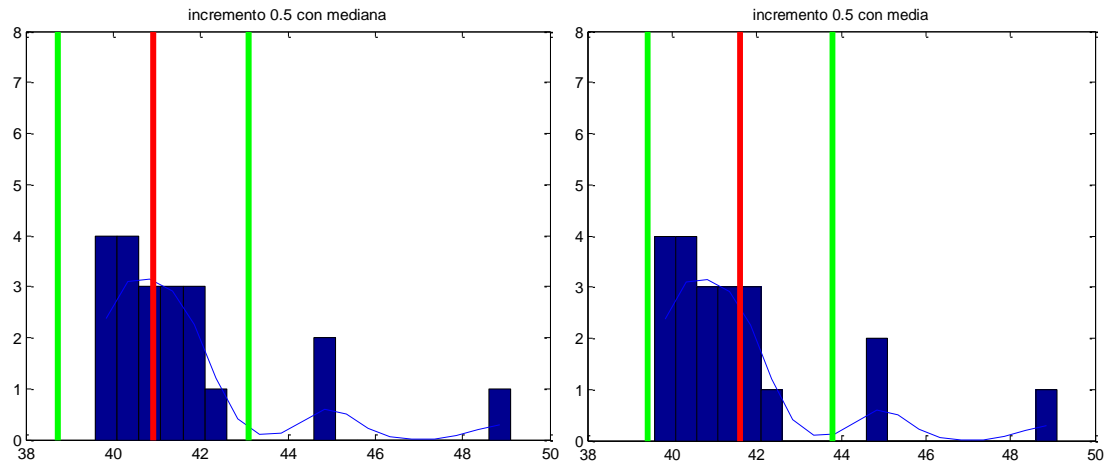
Por el contrario si cogemos el valor de la mediana con las respectivas desviaciones todos los datos marginales que no nos interesan en el estudio, quedan fuera del rango establecido para la restricción de los datos.

De este modo para seleccionar solo los datos que nos interesa deberemos eliminar los que están fuera del rango que confluye la mediana junto con la desviación estándar a ambos lados de esta. Pero si realizamos esta prueba para varias señales de distinta tipología, nos damos cuenta que esta restricción no nos es válida ya que en algunos casos, con estos rangos dejamos fuera valores que si que nos interesan.

Vamos a ver un par de ejemplos más para confirmar que este hecho se cumple de forma general para algunas señales pero no para todas las señales que tenemos.



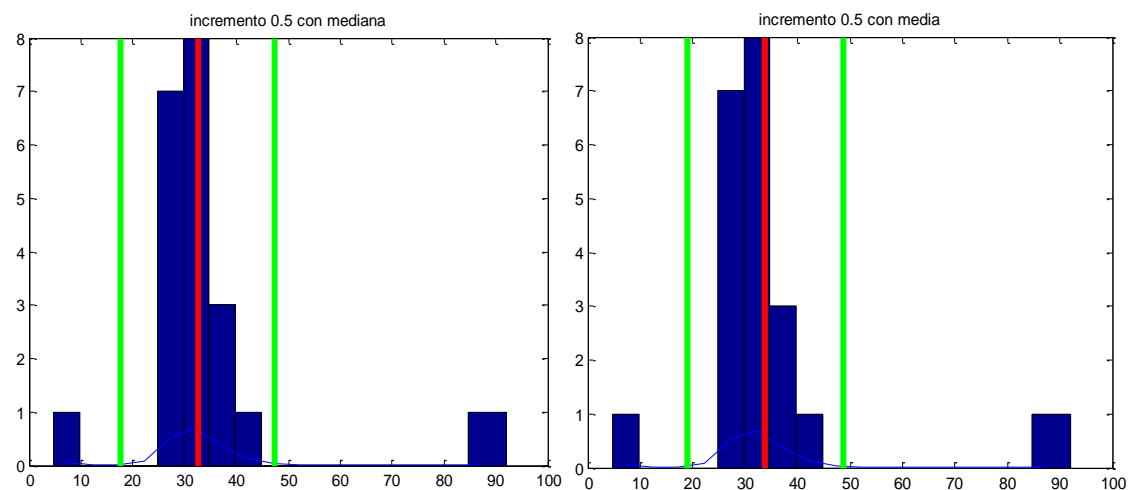
### Ejemplo 1:



**ILUSTRACIÓN 94:** Representación del histograma, función ksdensity y marcados en una la media  $\pm$  desviación en verde y solo la media en rojo, y en la otra la mediana  $\pm$  desviación en verde y en rojo la mediana para un incremento de 0.5 en el intervalo de representación.

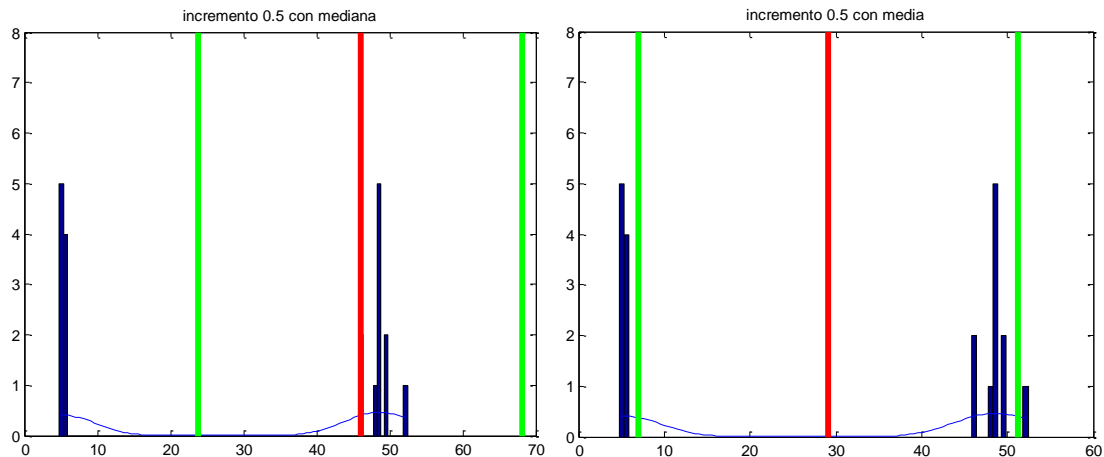
### Ejemplo 2:

También si miramos para uno de los casos en los que el incremento de RT para la representación del histograma tenía que ser mayor que los valores que la mayoría de los casos cumple, vemos lo mostrado en la “Ilustración 95”.



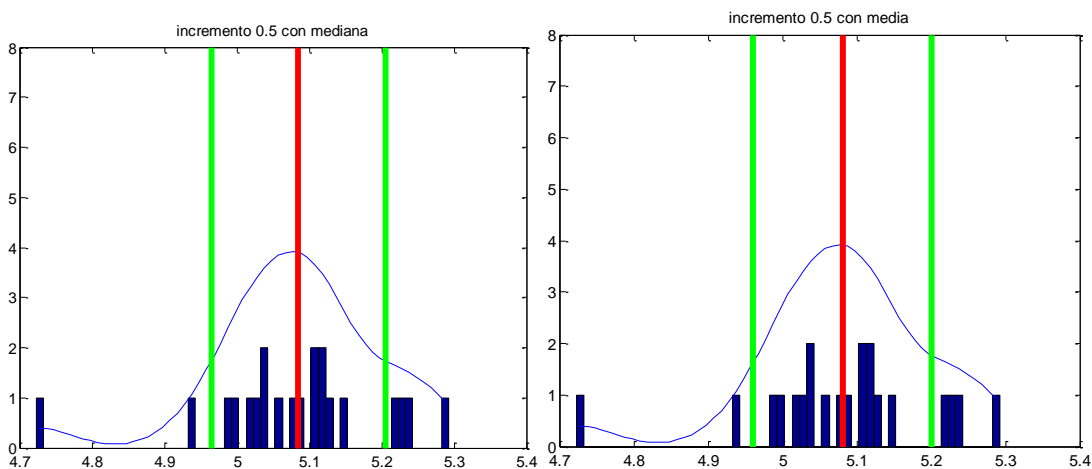
**ILUSTRACIÓN 95:** Representación del histograma, función ksdensity y marcados en una la media  $\pm$  desviación en verde y solo la media en rojo, y en la otra la mediana  $\pm$  desviación en verde y en rojo la mediana para un incremento de 0.5 en el intervalo de representación.

En ambos casos con la mediana obtenemos el rango correcto aunque justo los dos casos seleccionado los valores marginales se encuentran muy lejanos de la media y la media más-menos su desviación estándar, pero si probamos para mas señales vemos que el dato adecuado que debemos tener en cuenta para la selección del rango de datos se basa en la mediana, de forma más correcta que la media de los RT.

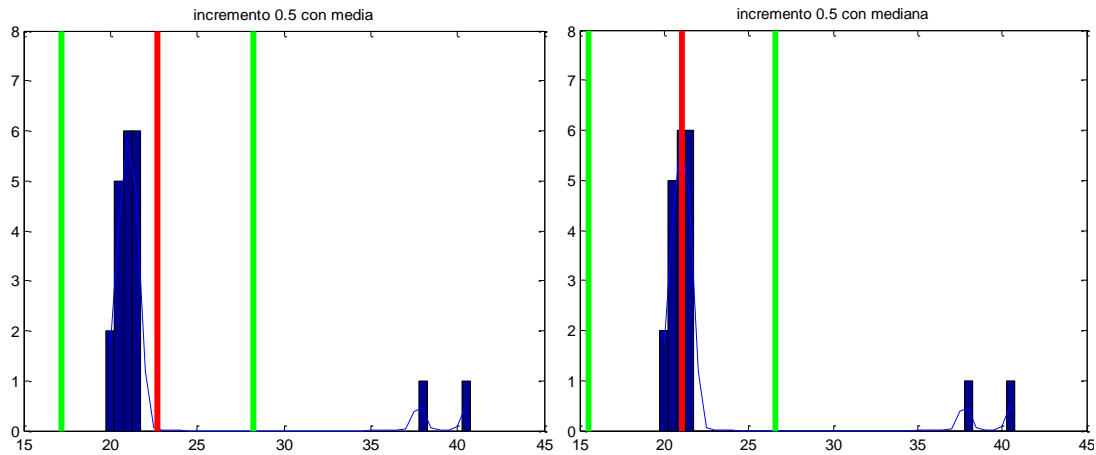


**ILUSTRACIÓN 96:** Representación del histograma, función ksdensity y marcados en una la media  $\pm$  desviación en verde y solo la media en rojo, y en la otra la mediana  $\pm$  desviación en verde y en rojo la mediana para un incremento de 0.5 en el intervalo de representación.

En el siguiente caso, un caso particular, que no encontraremos muchas veces, tenemos que la media y la mediana son casi iguales, algo que es muy raro que ocurra.



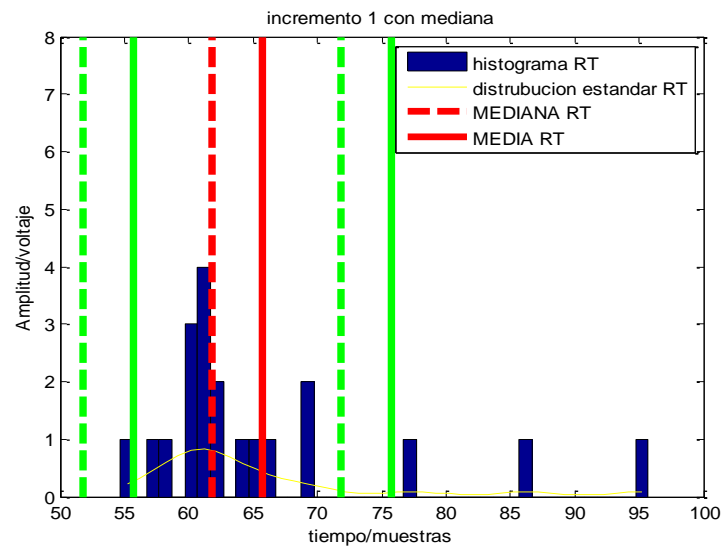
**ILUSTRACIÓN 97:** Representación del histograma, función ksdensity y marcados en una la media  $\pm$  desviación en verde y solo la media en rojo, y en la otra la mediana  $\pm$  desviación en verde y en rojo la mediana para un incremento de 0.5 en el intervalo de representación.



**ILUSTRACIÓN 98:** Representación del histograma, función ksdensity y marcados en una la media  $\pm$  desviación en verde y solo la media en rojo, y en la otra la mediana  $\pm$  desviación en verde y en rojo la mediana para un incremento de 0.5 en el intervalo de representación.

En la siguiente imagen podemos ver todo en conjunto junto con la leyenda y los ejes, fijándonos bien, nos damos cuenta que si utilizamos como valor de referencia la media para eliminar los valores marginales que nos genera RT eliminamos un valor que con la mediana no eliminaríamos, y además con la media el rango no está centrado donde más concentración de valores tenemos sino un poco más adelante.

Esto o casos parecidos ocurren con casi todas las señales como hemos podido ver en los ejemplos anteriores, donde en algunos casos la media y mediana son casi iguales y el resultado no varía mucho, en otros casos no existen casi valores marginales o se encuentran muy alejados de la concentración de la mayoría de los valores y con las dos medidas conseguimos el mismo.



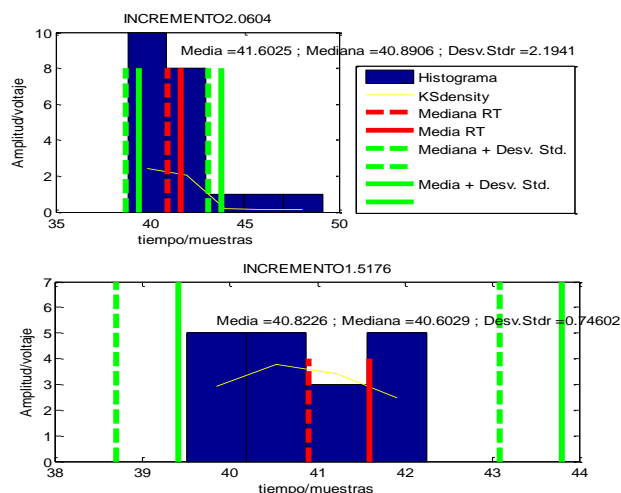
**ILUSTRACIÓN 99:** Imagen con todos los datos que hasta ahora hemos se han considerado necesarios para una buena representación de los valores de RT en el histograma.

Luego lo que deberemos hacer para seleccionar los valores adecuados es aplicar la siguiente restricción:

$$\text{median (RT)} + \text{std (RT)} < \text{RT} < \text{median (RT)} + \text{std (RT)}$$

De esta manera solo escogeremos los valores que queremos en aquellos casos en los que se cumpla la restricción establecida. O eso es lo que se supone que debería hacer.

A continuación vamos a ver ejemplos del resultado de obtenido al aplicar la ecuación arriba.

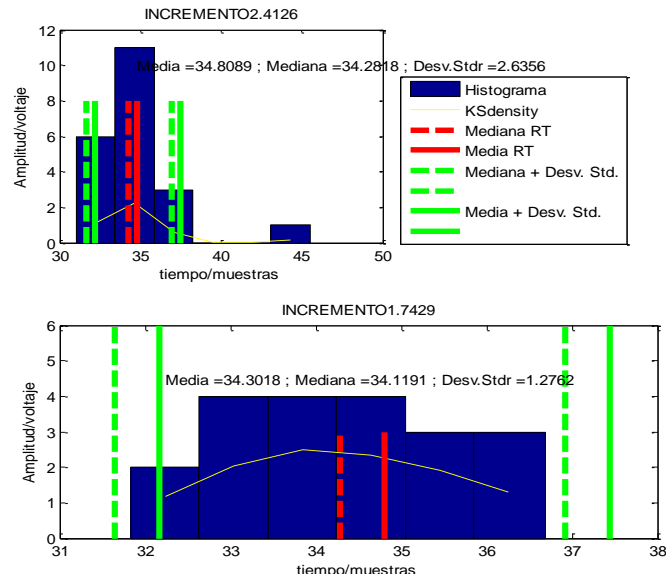


**ILUSTRACIÓN 100:** Representación de los datos antes y después de la eliminación de los valores marginales con las restricciones hasta ahora impuestas para ello.

En el ejemplo que proponemos inicialmente vemos que todos los datos están concentrados en el rango comprendido entre treinta y cinco y cincuenta sin haber espacios entre ellos, pero al aplicar la restricción que hemos supuesto que deja los datos marginales fuera, en este caso elimina valores que si nos interesan ya que no existe una diferencia excesivamente grande con el resto de valores que nos hagan pensar que se deben a

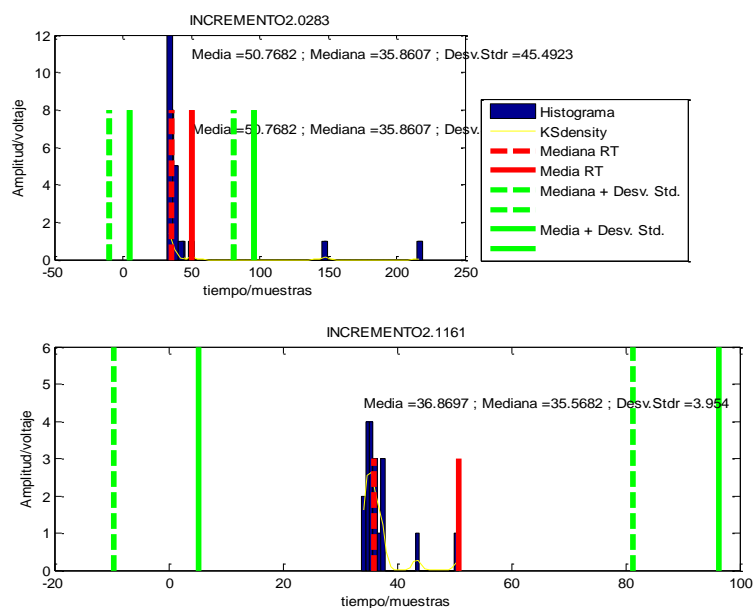
espigas defectuosas.

Lo mismo ocurre con el caso siguiente, en el que eliminamos el el valor marginal que existe pero también alguno más que no se puede considerar marginal.



**ILUSTRACIÓN 101:** Representación de los datos antes y después de la eliminación de los valores marginales con las restricciones hasta ahora impuestas para ello.

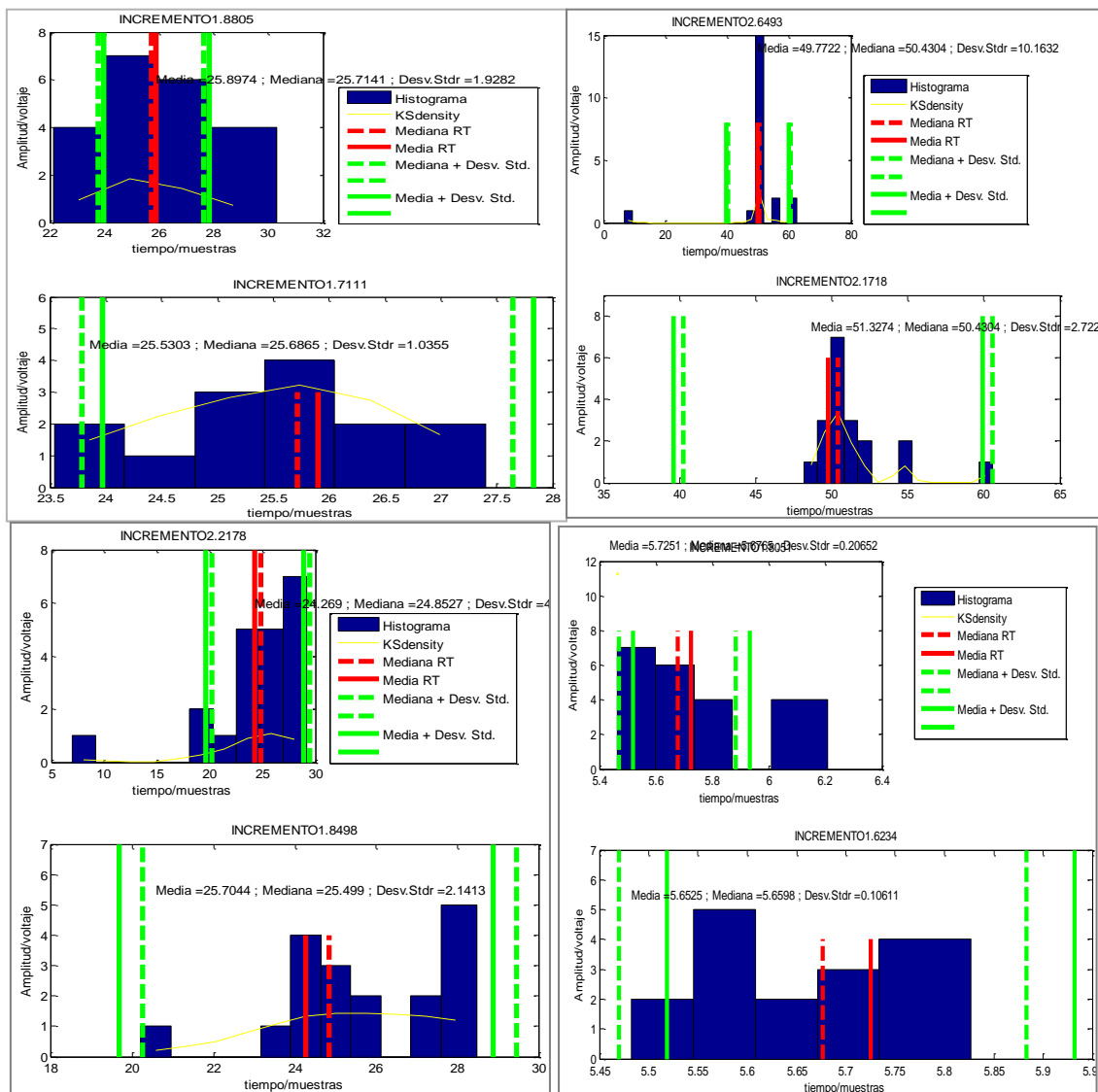
En el siguiente ejemplo podemos ver que el incremento de RT para el estudio del histograma no es el adecuado, ya que tenemos la información muy separada. Si modificamos manualmente este incremento para la representación vemos los ejemplos que siguen al que se muestra a continuación.



**ILUSTRACIÓN 102:** Representación de los datos antes y después de la eliminación de los valores marginales con las restricciones hasta ahora impuestas para ello.

Hemos cambiado los datos y tenemos lo mismo, lo nos lleva a darnos cuenta, de que la representación hace que la información contenida en el histograma se vea tan pequeña al poner de límites los valores que calculamos con la mediana y la desviación estándar, aunque si acumulada sin espacios entre barras, porque la media y mediana respectivamente mas la desviación estándar son valores muy lejanos de la concentración de información. Si mostrásemos el histograma sin los límites que hemos escogido para la eliminación de los datos marginales veríamos mejor la información pero tendríamos lo mismo.

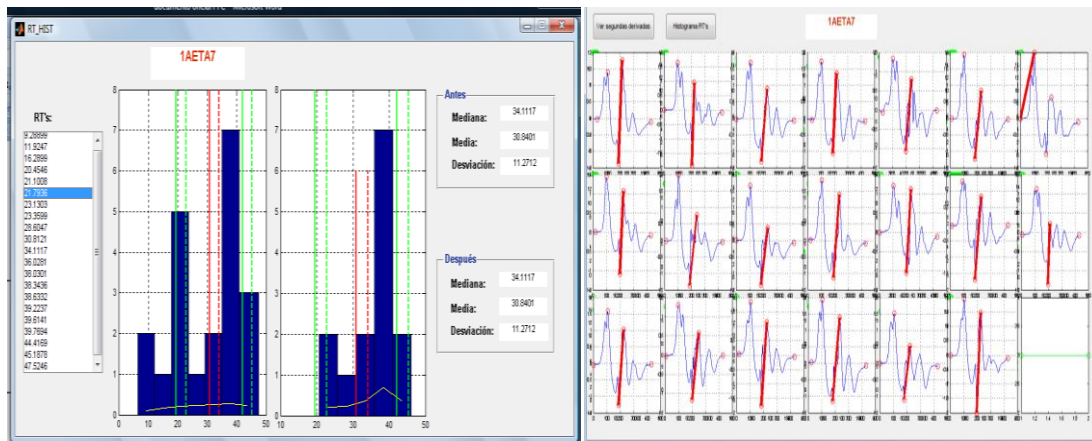
Otros ejemplos gráficos en los que nos ocurre lo mismo.



**ILUSTRACIÓN 103:** Varias representaciones antes y después de la eliminación de los valores marginales, en las que podemos observar diferentes casos, donde se eliminan datos que realmente no deberíamos ya que corresponden con los RT de espigas correctamente detectadas.

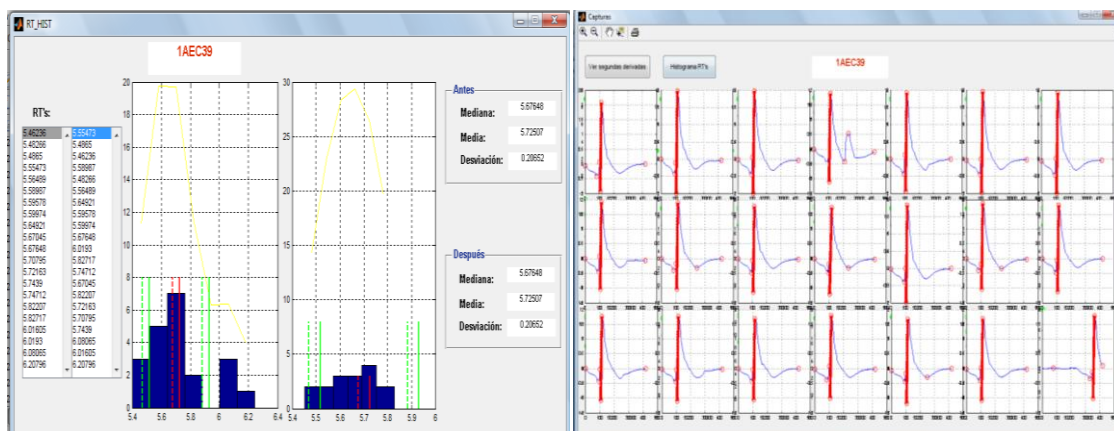
Si lo miramos teniendo las espigas, comprobamos que los datos que se encuentran fuera en algunos casos pertenecen a espigas correctas.

Como en el caso siguiente representado en la “Ilustración 103”, donde la concentración de los valores de los RT está en un único rango todos juntos, pero la mediana más/menos la desviación hace que se eliminen valores que no son marginales. Puede que este además sea un caso un poco especial, ya que en él, una espiga no está correctamente detectada pero su valor de RT no influye de manera negativa, porque sigue siendo un valor muy similar al del resto de capturas.



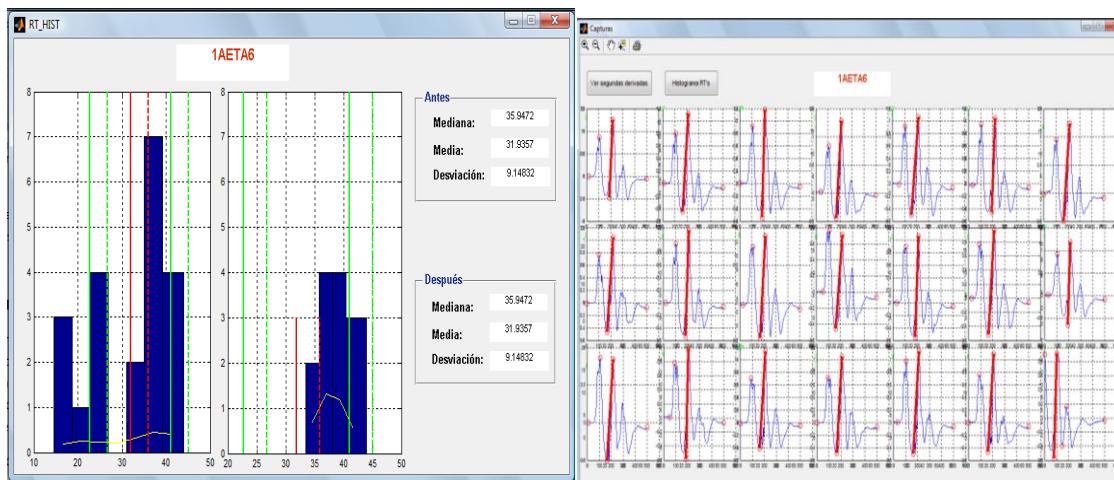
**ILUSTRACIÓN 104:** Histogramas antes y después de eliminar los valores marginales junto con las graficas de la detección de las espigas, la cual nos corrobora si se han eliminado los datos correctamente o no.

Otro ejemplo similar pero en el cual todas las espigas han sido correctamente detectadas, y para el cual la representación ha dejado un rango de datos sin valores, vemos que tampoco sería correcto, puesto que todas las espigas son correctas, tengan valores similares o no.



**ILUSTRACIÓN 105:** Otro ejemplo grafico donde podemos corroborar si la eliminación de los datos marginales se está realizando de manera correcta.





**ILUSTRACIÓN 106:** Otro ejemplo grafico donde podemos corroborar si la eliminación de los datos marginales se está realizando de manera correcta.

Este hecho, cabria destacarlo, pues se da en muchas de las señales, en las que las capturas son distintas entre sí pero buenas para el estudio, lo que nos lleva a tiempos de RT diferente a la vez que correctos.

Como podemos observar en todos los ejemplos anteriores podemos ver que en todos los casos cumplimos con el objetivo de eliminar los datos marginales pero quitando datos que no lo son. Por ello nos encontramos con la necesidad de cambiar las restricciones y buscar aquellas en las que solo eliminemos los datos marginales sin quitar información relevante de las señales.

Con todos los resultados recopilados anteriormente, se ha pensado en utilizar los resultados que se obtienen de aplicar la función `ksdensity()` introduciendo solo los valores de RT. De este modo obtenemos una aproximación de la distribución de los valores, que podremos utilizar para encontrar posibles zonas alejadas de la mayor concentración si es que existen.

Para ello al aplicar la función `ksdensity()` obtenemos una grafica que nos representa la distribución de probabilidad a partir de los valores que ponemos de entrada, con ella podemos ver si existen zonas de pequeña probabilidad en los extremos o fuera de la mayor parte de concentración de los datos.

Los datos que nos devuelve son los extremos de las barras de representación del histograma y la probabilidad correspondiente a cada uno de ellos. Luego eliminando donde encontramos valores redondeados a cero, el ultimo antes del máximo de la probabilidad y el primero después del máximo de la probabilidad.

De este modo conseguimos eliminar los valores marginales pertenecientes a capturas erróneas.

A continuación podemos ver ejemplos gráficos del resultado que se obtiene de aplicar estas nuevas restricciones para la representación de los histogramas correspondientes a los valores de los RT de cada captura de la señal.

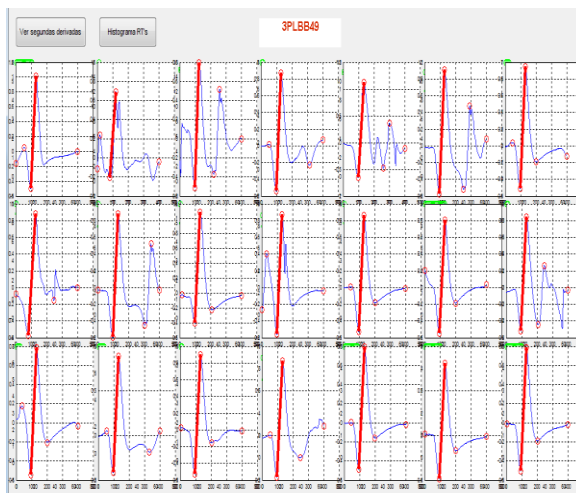


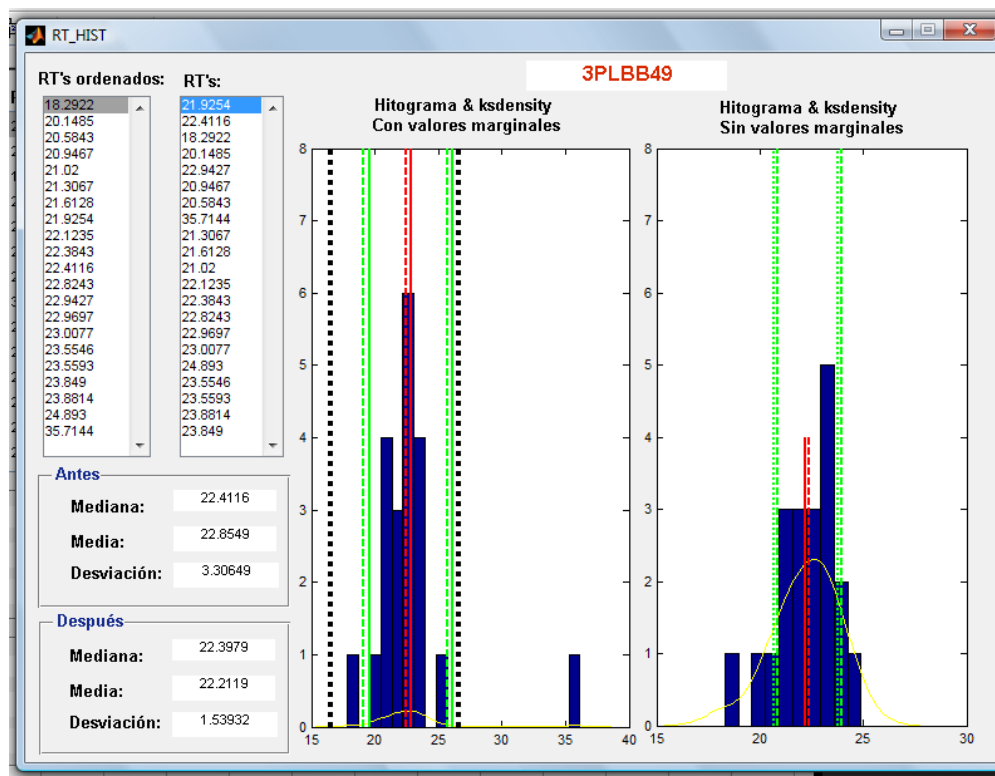
ILUSTRACIÓN 107: Espigas de la señal “3PLBB49.mat”

Del conjunto de espigas representado en la “Ilustración 106”, se puede deducir que los RT de todas más o menos, van a estar en torno a un valor parecido para todas ellas, ya que todas siguen un patrón similar, o aparentan características comunes. Pero después en la obtención de los RT veremos que en una de ellas (captura número ocho) el tiempo correspondiente a ella se aleja del resto.

Si Nos fijamos en los resultados obtenidos del RT primero con todos los datos, conjuntamente con la media, mediana y desviación estándar, vemos que existe un valor que esta fuera del entorno donde se agrupan el resto, este corresponde a la captura ocho que anteriormente comentábamos, lo cual comprobamos en los valores de los RT que se presentan a la izquierda de los histogramas, en los cuales la primera lista pertenece a los RT ordenados de menor a mayor y en la segunda en orden de aparición de las capturas, para esta, el valor de RT es mayor, ya que en este caso la espiga tiene menor pendiente que el resto de capturas.

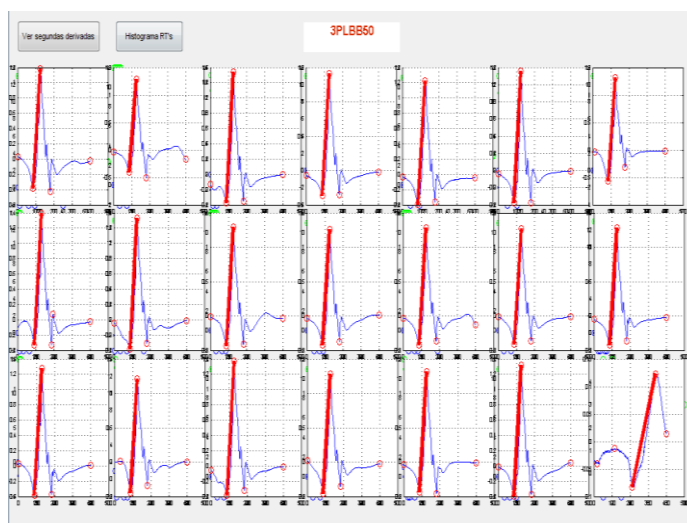
Una vez eliminado ese valor marginal, donde en el primer histograma vemos cuales son los límites utilizados para dicha eliminación dibujados con una línea discontinua de color negro, se obtiene que el resultado final sin valores marginales es el representado en el histograma de la derecha, donde con línea amarilla aparece representado el resultado de la función `ksdensity()`, el cual se aproxima a una distribución normal de los valores donde el máximo corresponde a la media aproximadamente y las colas de la campana decaen en función de la desviación estándar.

Como únicamente se ha eliminado un valor, los resultados correspondientes a la media y mediana antes y después de eliminar los valores marginales son muy similares, lo que cambia es el valor de la desviación estándar, el cual se ha visto claramente reducido.



**ILUSTRACIÓN 108:** Lista de valores de de los RT correspondientes a las espigas de las capturas seleccionadas junto con la representación en forma de histograma de la distribución de estos antes y después de eliminar los valores marginales. Aparecen también los resultados de la media, median y desviación. Señal “3PLBB49.mat”

Otro ejemplo en el cual se aprecia claramente que la ultima captura no sigue el patrón del resto y que además su valor de RT va a ser totalmente diferente es que se muestra en la “Ilustración 108”.



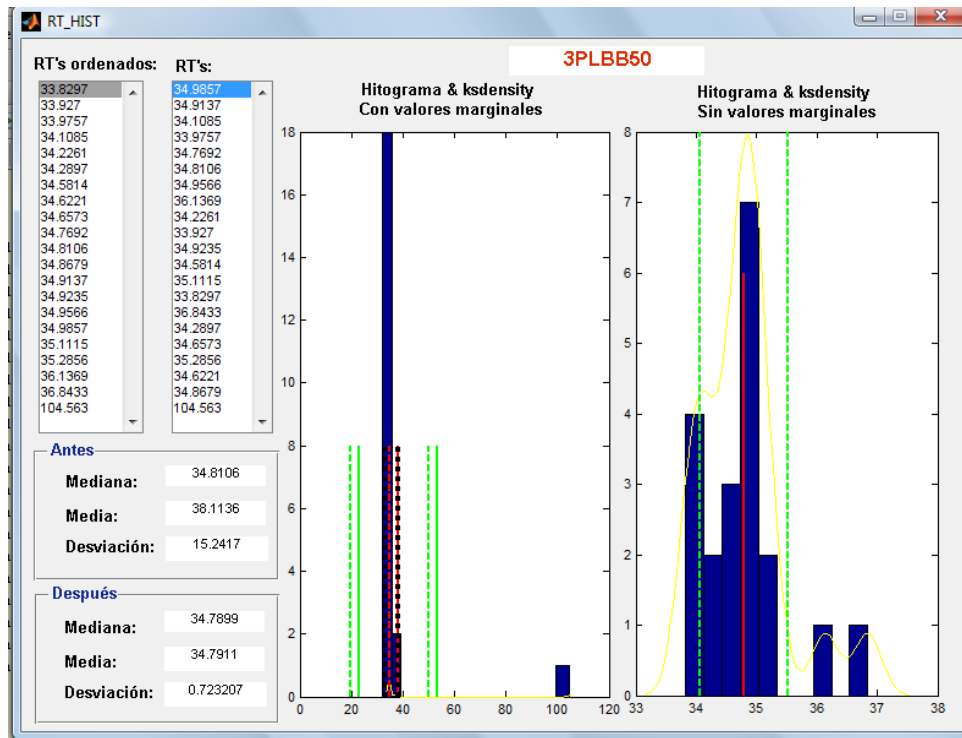
**ILUSTRACIÓN 109:** Espigas de las capturas de la señal “3PLBB50.mat”

En este caso la última captura es errónea o aunque se parece algo a las demás esta ensanchada y trasladada, con respecto al resto, luego no nos servirá para el estudio, y entonces corresponderá a un valor marginal de los RT.

En e histograma inicial parece que la mayor parte de los valores correspondientes al RT se encuentran en un único rango, pero al eliminar el valor marginal de la ultima captura y modificar el rango de representación, vemos

que no es exactamente así.

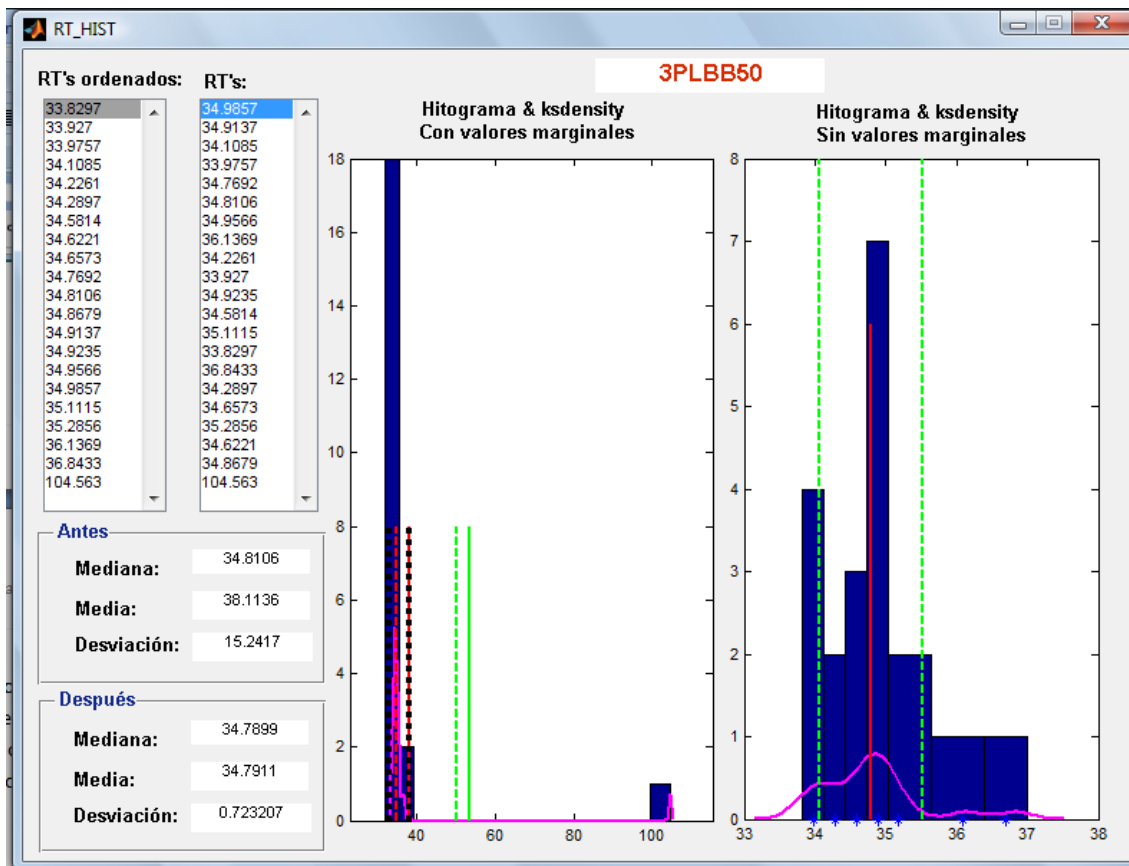
En este caso la distribución también se aproxima a una normal pero de una forma un poco diferente ya que no todos los valores están consecutivos, sino que existen rangos donde no tenemos ninguno. En el segundo histograma podemos verlo (“Ilustración 110”).



**ILUSTRACIÓN 110:** Lista de valores de de los RT correspondientes a las espigas de las capturas seleccionadas junto con la representación en forma de histograma de la distribución de estos antes y después de eliminar los valores marginales. Aparecen también los resultados de la media, median y desviación. Señal “3PLBB50.mat”

Como en este caso, tenemos en muchos más que existen rangos donde no tenemos valores de RT, por ello para que la representación, sea continua en el histograma, eliminaremos los extremos que pertenecen a rangos correspondientes a cero valores de RT.

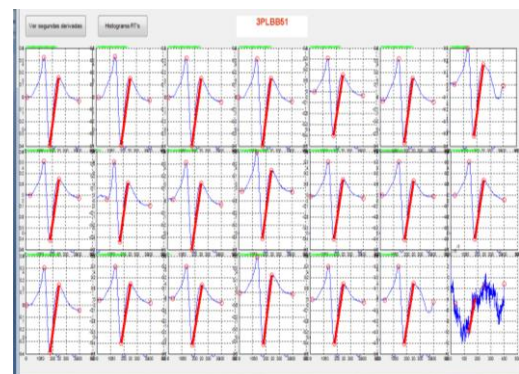
En este caso la grafica de la función ksdensity (), ya no presenta dos pequeñas montañitas a la derecha de la campana de distribución al ser modificados los intervalos de representación como podemos ver en la “Ilustración 111” que se muestra a continuación.



**ILUSTRACIÓN 111:** Lista de valores de los RT correspondientes a las espigas de las capturas seleccionadas junto con la representación en forma de histograma de la distribución de estos antes y después de eliminar los valores marginales. Aparecen también los resultados de la media, mediana y desviación. Señal “3PLBB49.mat”

El siguiente ejemplo corresponde a uno de los casos que hemos tratado como especiales en la selección de espigas, por sus características gráficas.

En él, el valor marginal se encuentra por debajo de los valores de la mayoría de los RT de cada captura, y al igual que en el ejemplo anterior el valor marginal que se representa en el histograma pertenece a la última captura, donde en este caso sí que es una captura errónea que nada tiene que ver con las demás y la cual no debe considerarse para el estudio, ya que en ella solo se representa ruido.



**ILUSTRACIÓN 112:** Espigas correspondientes a una de las señales que se ha tratado como caso especial, por estar estas invertidas.



Como en todos los casos que vamos a ver y como norma general para todas las señales, esta representación corresponde a una distribución normal, como se refleja en la curva en color magenta del histograma de la derecha que se muestra en la “Ilustración 113”.

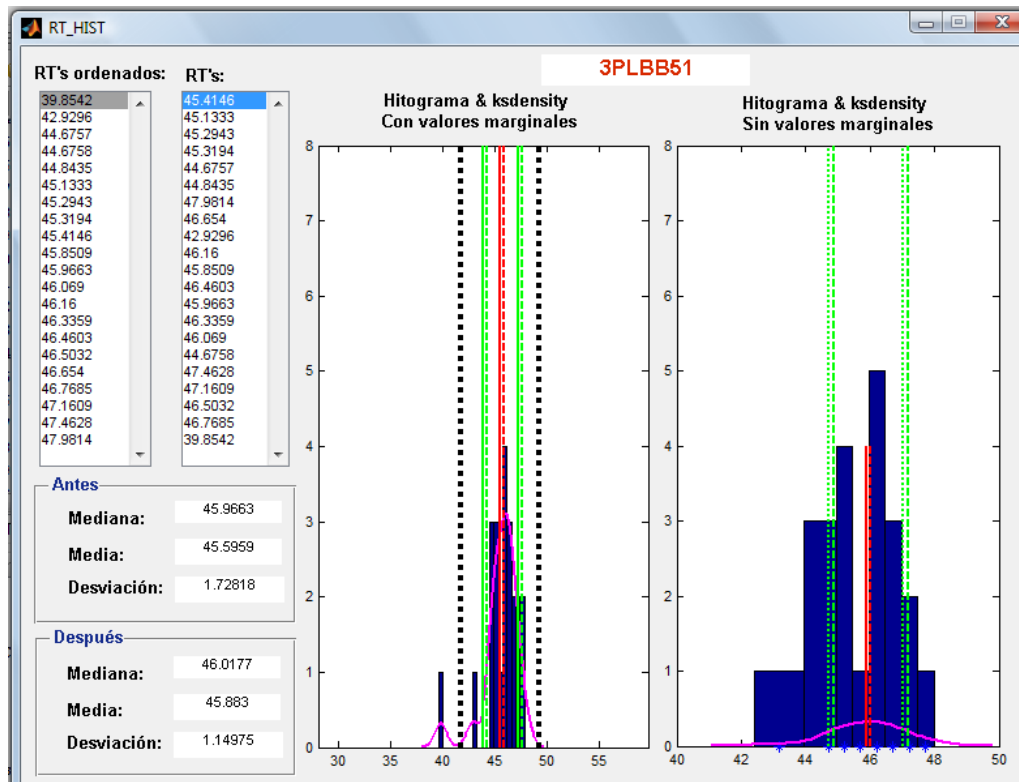


ILUSTRACIÓN 113: Histogramas de los RT antes y después de la eliminación de los valores marginales para el caso que se ha considerado especial por estar la espiga invertida.

El ejemplo que vamos a comentar a continuación corresponde a una señal un poco especial, en la que la detección de las espigas es un poco complicada, ya que algunas de las capturas son bastante diferentes al resto, esto hace que los RT correspondientes a dichas capturas también sean diferentes. En este caso (“Ilustración 114”) tenemos dos capturas en las que la espiga principal es diferente al resto porque las señales son un poco distintas y una en la que la espiga es distinta a todas las demás que corresponde como en muchos casos a la última captura y

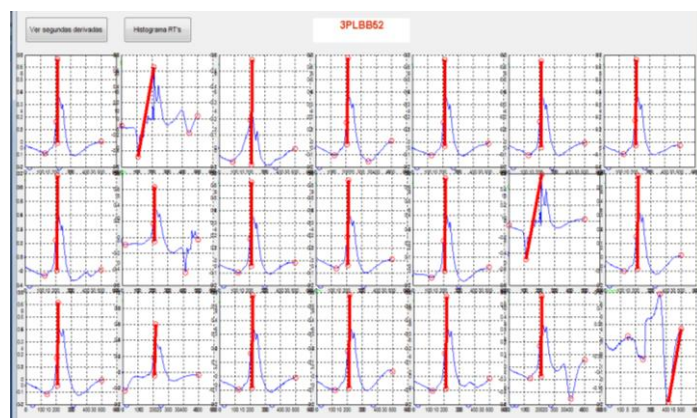
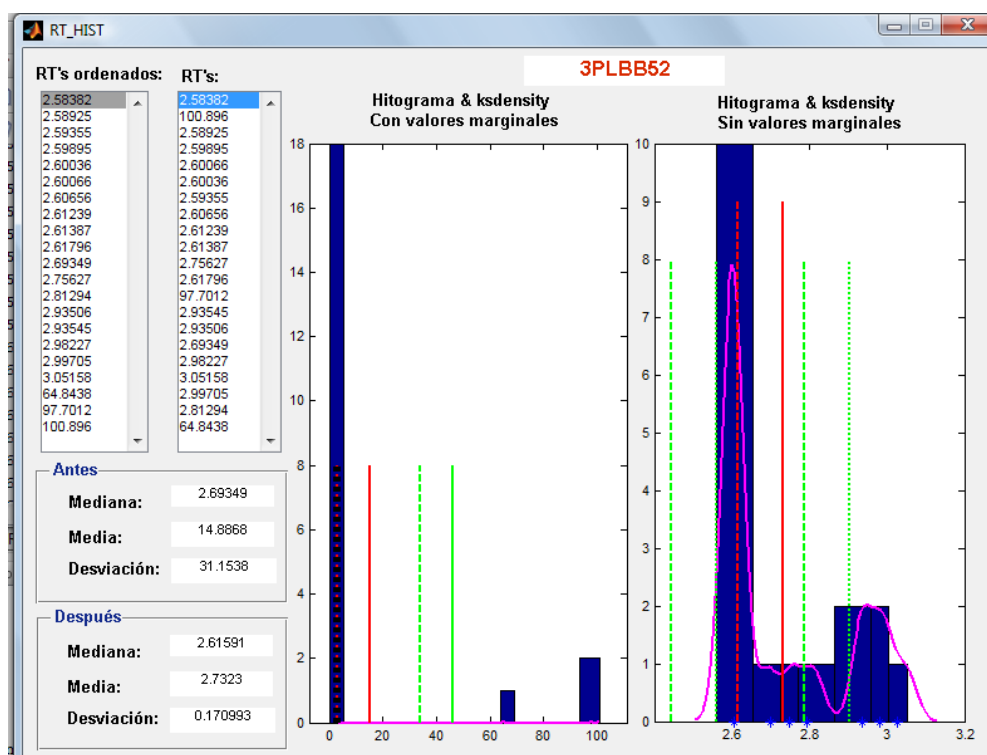


ILUSTRACIÓN 114: Espigas correspondientes a una señal donde la selección es un poco complicada por existir picos de amplitud considerable en su transcurso.

como en casi todos ellos, se debe a que no corresponde con los patrones generales del resto de capturas y por lo tanto no se debe tener en cuenta.

Las dos capturas que tiene una forma un poco distinta, y la espiga principal detecta es muy diferente al resto, dando como resultado del RT un valor bastante más grande, esto no quiere decir que la espiga este mal detectada, sino que posiblemente, dichas capturas no deberían tenerse en cuenta durante el estudio, o así lo entendemos, por ello consideraremos estos valores como marginales no teniéndolos en cuenta en la presentación final de los valores de los RT de la señal.



**ILUSTRACIÓN 115:** Lista de valores de los RT correspondientes a las espigas de las capturas seleccionadas junto con la representación en forma de histograma de la distribución de estos antes y después de eliminar los valores marginales. Aparecen también los resultados de la media, mediana y desviación. Señal “3PLBB52.mat”

En este caso, la presentación final de la función ksdensity (), que nos da la función de probabilidad de los datos, no representa exactamente una distribución normal, aunque sí que existe una gran concentración de valores en el rango que se encuentra entre el valor dos y medio y dos con siete aproximadamente, pero al igual que en el resto los datos finales están agrupados.



# PFC

Otro caso mas donde encontramos que la ultima captura no nos sirve y donde el resto de valores son parecidos entre sí, dejando como resultado final de la distribución de los valores muy parecido a una distribución normal.

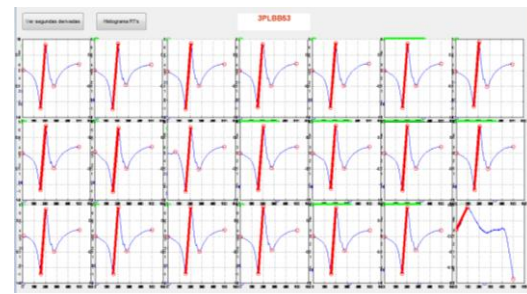


ILUSTRACIÓN 116: Espigas obtenidas para la señal “3PLBB53.mat”

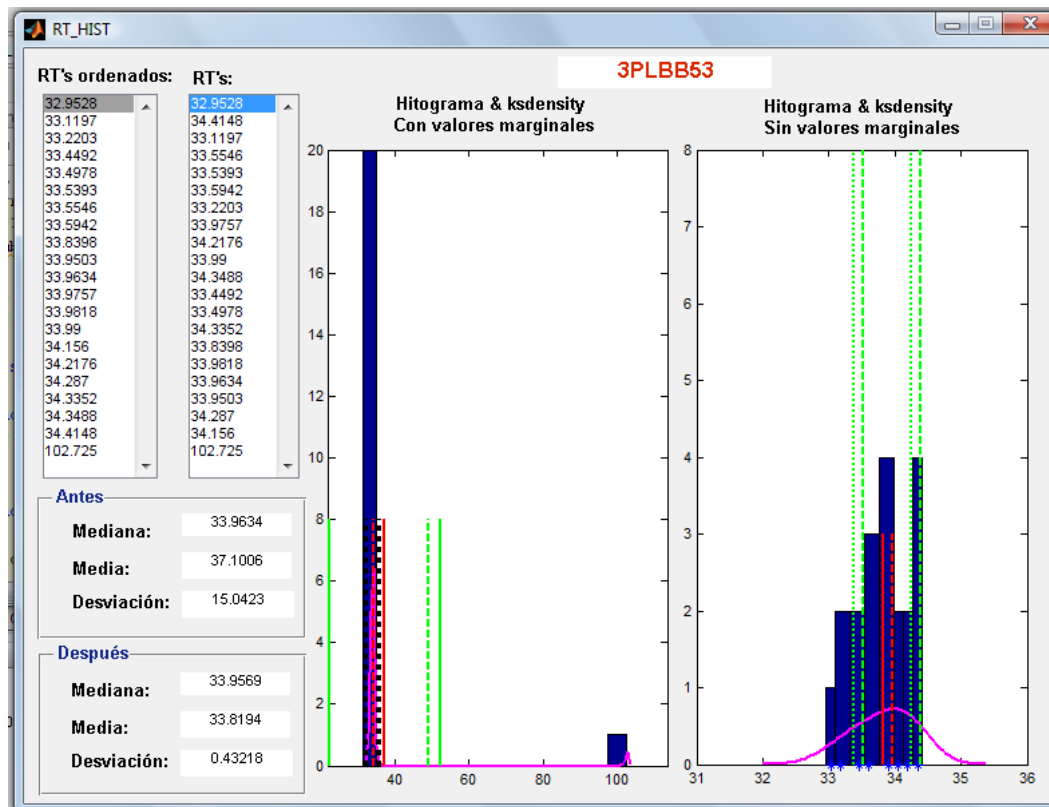
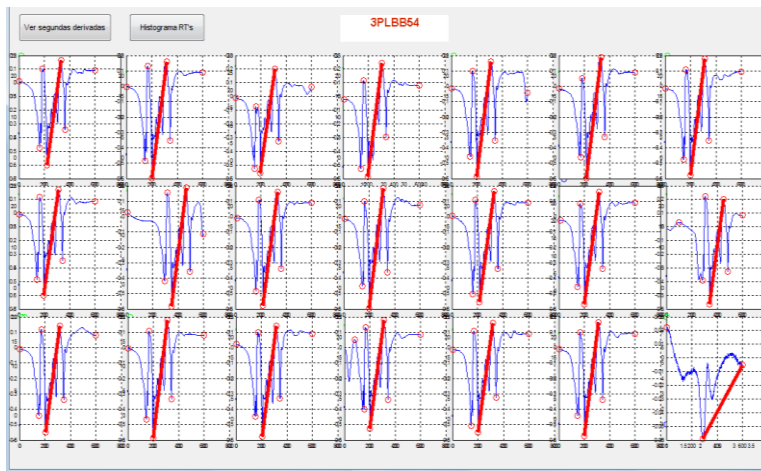


ILUSTRACIÓN 117: Lista de valores de de los RT correspondientes a las espigas de las capturas seleccionadas junto con la representación en forma de histograma de la distribución de estos antes y después de eliminar los valores marginales. Aparecen también los resultados de la media, median y desviación. Señal “3PLBB53.mat”

En el siguiente ejemplo vamos a ver como son los resultados de los RT en el otro caso que se ha indicado como especial en la selección de las espigas, así podremos ver si se han elegido bien, es decir, si la mayoría o todas ellas poseen unos valores de RT similares que nos den como resultado aproximadamente una distribución normal de los valores.

Como en casi la totalidad de los casos la última captura no corresponde con el resto en la selección de la espiga, ni tampoco sigue el patrón de estas, por ello el dato en ella

obtenido debe ser tratado como marginal y eliminado, para así tener un resultado acorde con los datos correctos que nos sirven para el estudio.



**ILUSTRACIÓN 118:** Espigas de la señal “3PLBB54.mat” considerada en el punto de detección de estas, como un caso especial por su gran variabilidad en su transcurso .

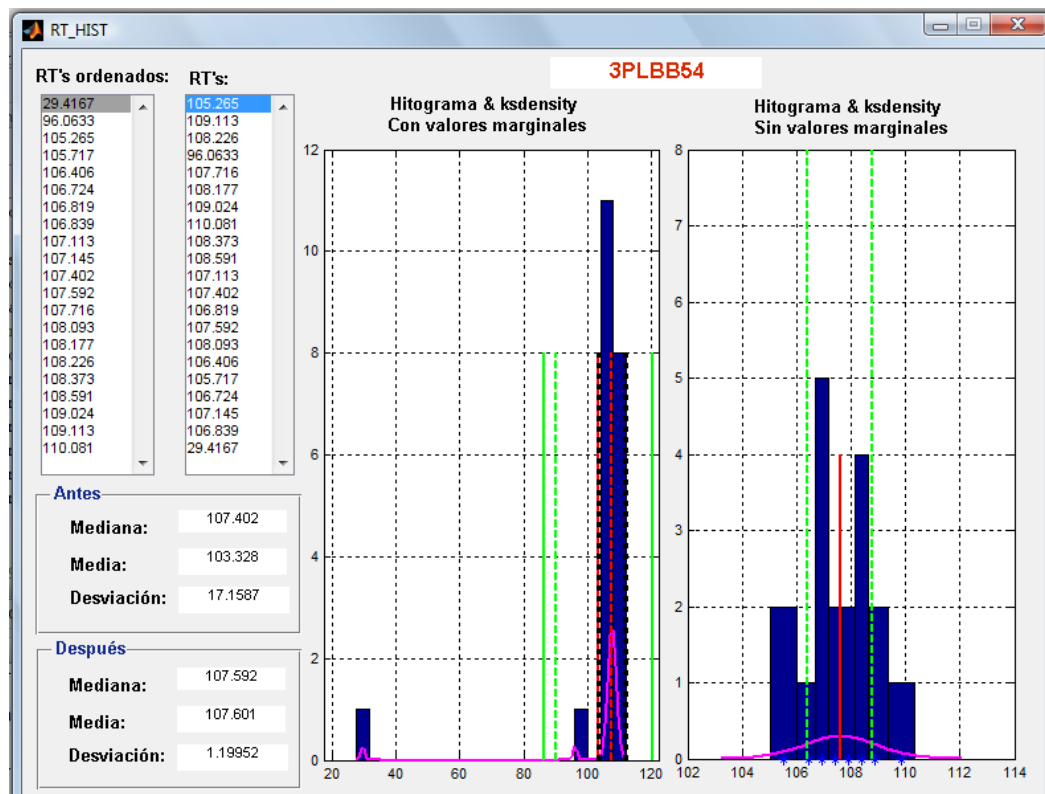
Se puede ver claramente que el dato que corresponde al mayor RT y con una gran diferencia respecto al resto será el que eliminemos, por no cumplir con las pautas de la señal.

De este modo el resultado final del estudio de los RT para esta señal será el que se presenta en la “Ilustración 119” donde claramente se aprecia que la distribución de probabilidad de los valores de RT se acerca mucho a una distribución normal, donde los resultados obtenidos para la media y mediana casi son iguales.

Si miramos detenidamente los datos de las graficas antes y después de la eliminación de los valores marginales, vemos que no solo elimina el valor de RT correspondiente a la ultima captura sino también el correspondiente a la captura número tres en la cual la señal tiene un poco menos de amplitud que en el resto y está un poquito ensanchada con respecto a las demás, aunque sigue el mismo patrón de estas.

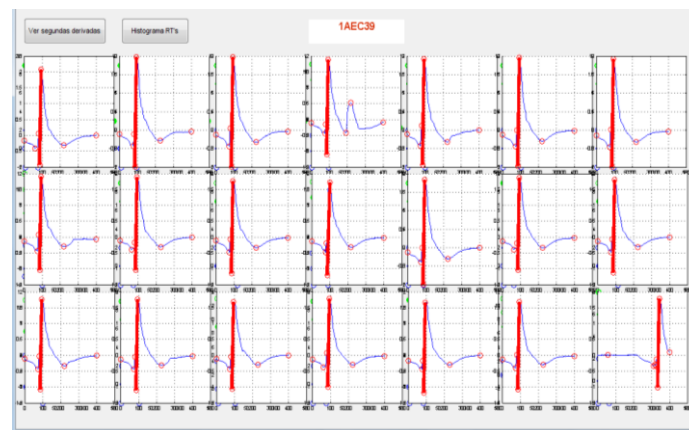
Se podría incluir este dato dentro de los correctos ya que ello no variaría mucho el resultado, pero entonces el código sería bastante más complejo, ya que determinar cuáles de las pequeñas campanas que aparecen a los lados de la campana principal pueden incorporarse a esta o no, nos llevaría a necesitar considerar muchos puntos característicos de cada señal en cuestión, en este caso solo hay una y sería fácil determinarlo pero hay señales en las que tenemos varias campanas a los lados, por lo tanto habría que hacer un estudio individual para cada una de ellas.

Este punto del estudio se podría proponer para futuras investigaciones para así mejorar los resultados obtenidos, pudiendo hacer un mejor análisis de los resultados.



**ILUSTRACIÓN 119:** Lista de valores de de los RT correspondientes a las espigas de las capturas seleccionadas junto con la representación en forma de histograma de la distribución de estos antes y después de eliminar los valores marginales. Aparecen también los resultados de la media, median y desviación. Señal “3PLBB49.mat”

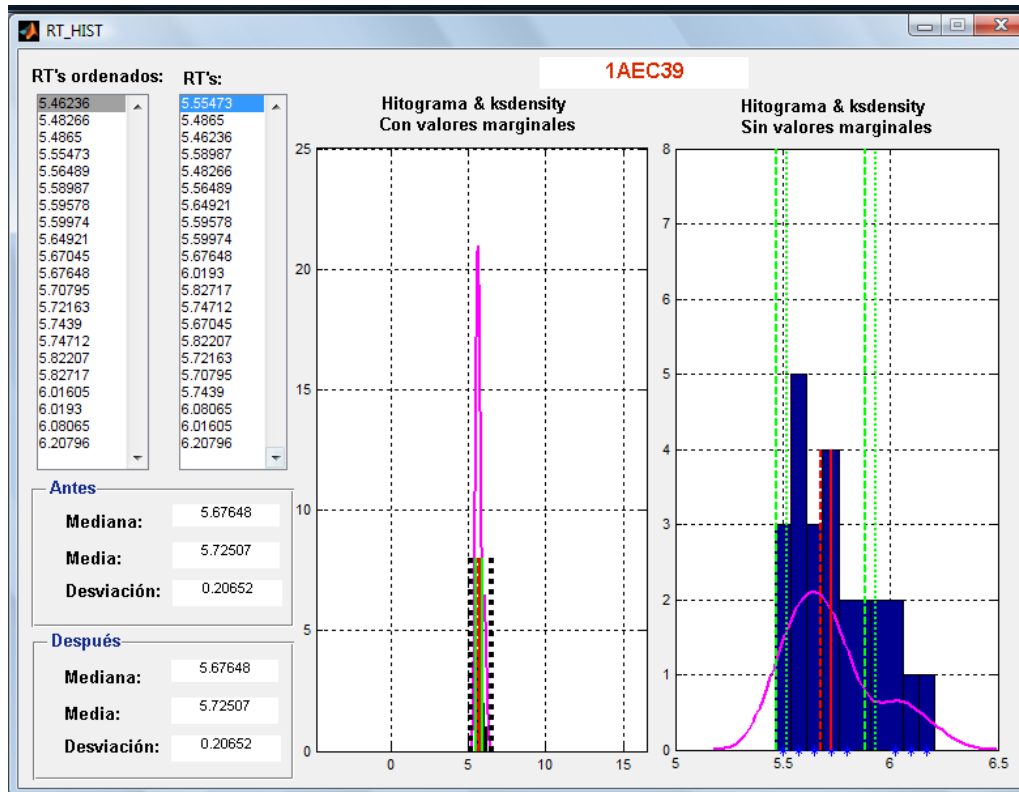
Ahora vamos a mostrar un ejemplo (“Ilustración 120”) donde no existen valores marginales, todas las capturas son buenas para para el estudio aunque la ultima esta trasladada con respecto al resto, pero la espiga es correcta y sigue el patrón de las demás, obteniendo como resultado del RT para esta un valor muy similar al de las demás.



**ILUSTRACIÓN 120:** representación grafica donde todas las espigas han sido correctamente detectadas y sus valores para RT a simple vista parece van a ser muy similares.

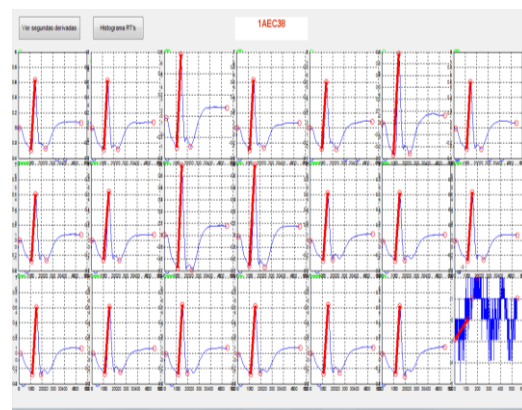
Por lo tanto en este ejemplo con el código de eliminación de los valores marginales lo que se consigue es reducir el rango de valores y ajustar los intervalos para la representación final.

En este caso como no se han eliminados valores, los datos iniciales y finales para la media, mediana y desviación estándar no cambian. El resultado final se corresponde con una distribución de probabilidad de los valores de RT normal.



**ILUSTRACIÓN 121:** Lista de valores de de los RT correspondientes a las espigas de las capturas seleccionadas junto con la representación en forma de histograma de la distribución de estos antes y después de eliminar los valores marginales. Aparecen también los resultados de la media, median y desviación. Señal “1AEC39.mat”

En el siguiente ejemplo vamos a tratar con una señal en la cual cada una de sus capturas tiene una amplitud diferente, aunque más o menos los RT para todas ellas parece ser que van a tener valores similares, exceptuando la ultima captura (en la que solo apreciamos ruido) que como ya hemos comentado en varios ejemplos en casi la mayoría de las señales obtenemos que la ultima captura nada tiene que ver con el resto de las



**ILUSTRACIÓN 122:** Ejemplo de detección de espigas donde cada una de estas tiene una amplitud diferente.

pertenecientes a la señal en estudio en cuestión.

Al realizar el cálculo de los RT para cada captura vemos como existe un valor el cual está muy alejado de los obtenidos para el resto, que va a corresponder con un valor marginal, el cual se queda fuera de los límites marcados en la eliminación de valores marginales.

Así, cuando ya tenemos solo los valores correctos que no sirven para un posible estudio de las señales se obtiene como cabía esperar ya que es el resultado general para todas las señales, una distribución normal de la probabilidad de los valores de RT.

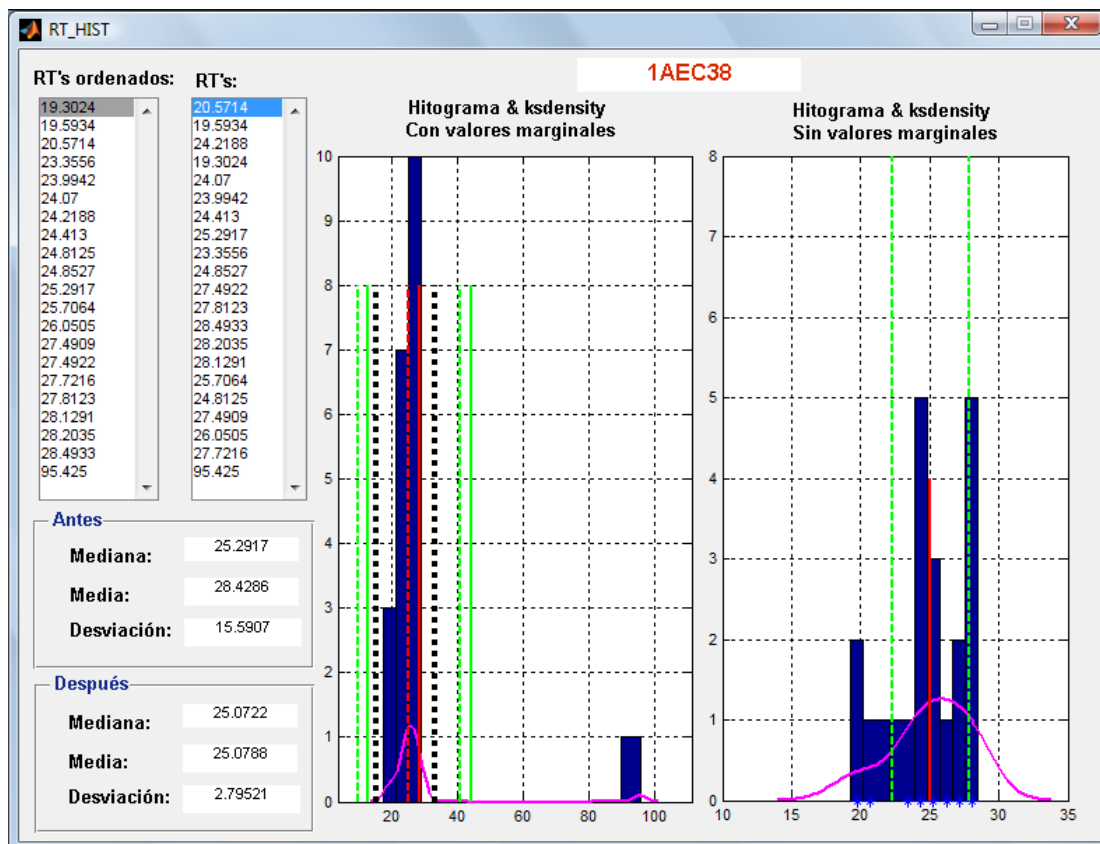


ILUSTRACIÓN 124: Lista de valores de los RT correspondientes a las espigas de las capturas seleccionadas junto con la representación en forma de histograma de la distribución de estos antes y después de eliminar los valores marginales. Aparecen también los resultados de la media, median y desviación. Señal “3PLBB49.mat”

El siguiente caso es similar, tenemos una señal con todas las capturas en principio correctas, pero la ultima tiene una pendiente mucha mayor que el resto además de estar trasladada, con lo cual lo correcto es eliminar el dato correspondiente a esta para el posible posterior estudio de los resultados.

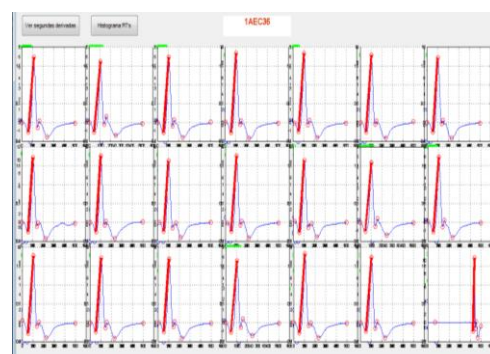
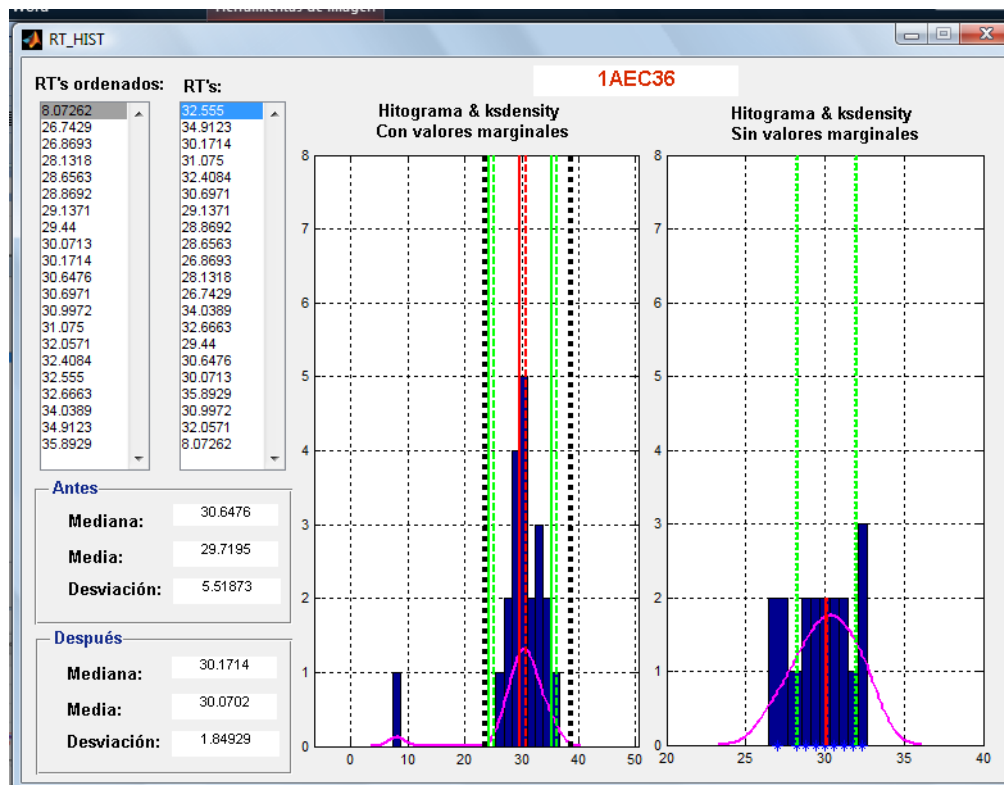


ILUSTRACIÓN 123: Espigas de la señal “1AEC26.mat”



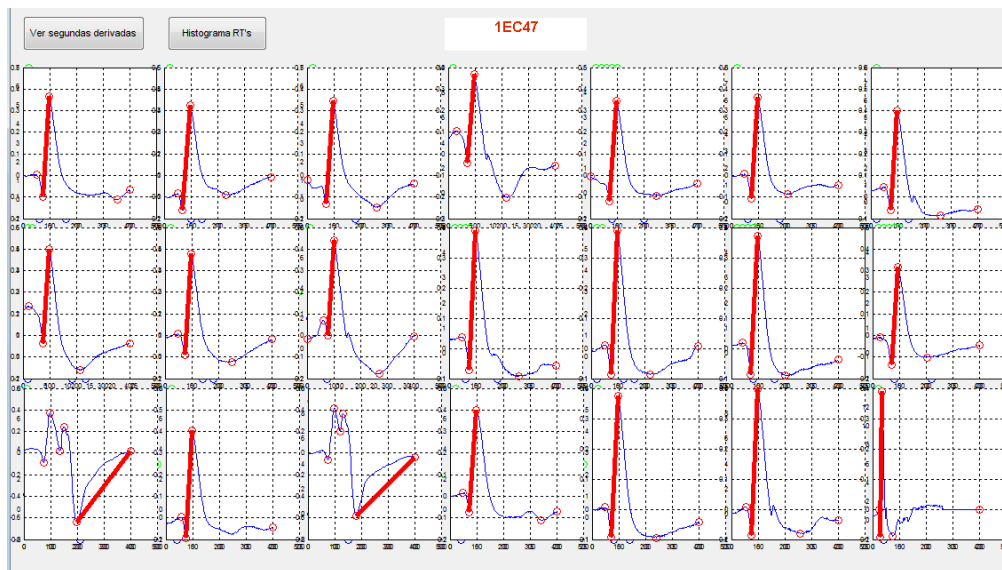
En los datos finales, la media y mediana son prácticamente iguales y la curva de representación de la probabilidad de aparición de los RT dibujada en magenta se aproxima muchísimo a una normal.



**ILUSTRACIÓN 125:** Lista de valores de de los RT correspondientes a las espigas de las capturas seleccionadas junto con la representación en forma de histograma de la distribución de estos antes y después de eliminar los valores marginales. Aparecen también los resultados de la media, median y desviación. Señal “3PLBB49.mat”

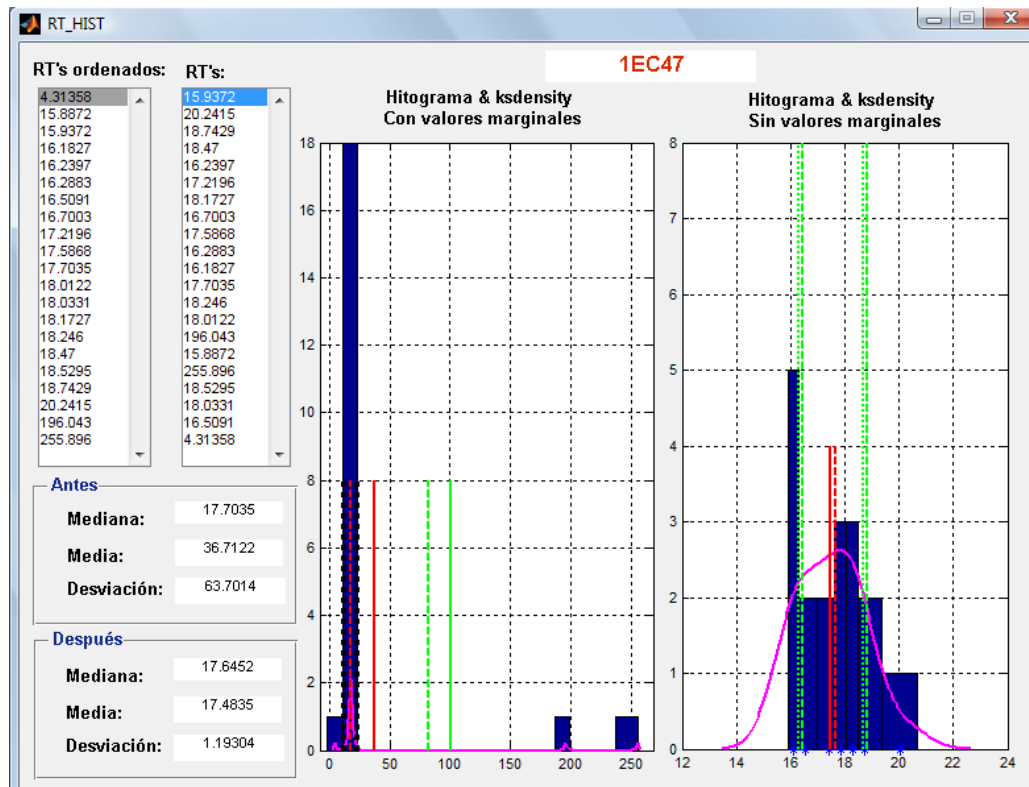
Los ejemplos siguientes nos encontramos con casos diferentes a los anteriormente comentados ya que aquí tenemos valores marginales más pequeños y más grandes que los valores más repetidos de RT que deben considerarse valores marginales.

Un primer ejemplo donde este hecho se pone de manifiesto, corresponde a la señal “1EC47.mat”, en la cual tenemos dos capturas que nada se parecen al resto y en las cuales se puede observar claramente que nos van a dar como resultado del RT un valor muy distinto al que obtendremos con las demás.



**ILUSTRACIÓN 126:** Señal donde la detección de la espiga en dos de las capturas es errónea.  
Corresponde a la señal “1EC47.mat”

Además también tenemos que la ultima captura aunque se parece a la forma general que tienen el resto, su pendiente es casi una recta vertical que nos dará un valor correspondiente al RT muy pequeño que se va a alejar de los valores que de forma general se obtiene en esta señal para el resto de capturas.



**ILUSTRACIÓN 127:** Lista de valores de de los RT correspondientes a las espigas de las capturas seleccionadas junto con la representación en forma de histograma de la distribución de estos antes y después de eliminar los valores marginales. Aparecen también los resultados de la media, median y desviación. Señal “3PLBB49.mat”



Otro ejemplo más donde ocurre lo mismo es el mostrado en las “Ilustraciones 128 y 129”.

La causa de existir estas espigas al igual que el anterior, es el hecho de que existen varias capturas muy distintas al resto que siguen el mismo patrón y por lo tanto nos dan diferentes valores para el RT.

La última captura pertenece solo a ruido, yo se corresponde con las características graficas que poseen la mayoría de las señales EMG.

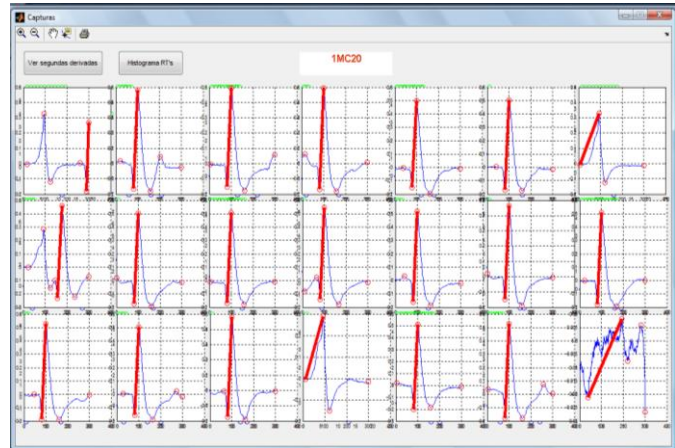


ILUSTRACIÓN 128: Señal donde la detección de las espigas no es correcta para todas las capturas.

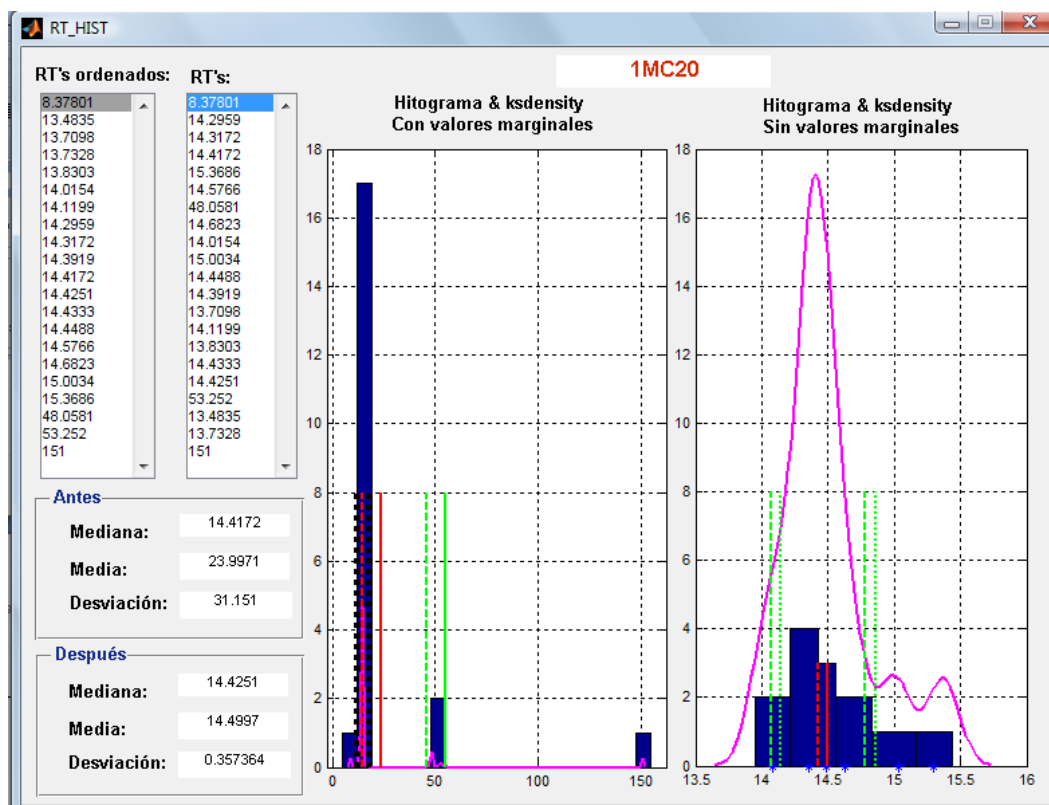


ILUSTRACIÓN 129: Lista de valores de de los RT correspondientes a las espigas de las capturas seleccionadas junto con la representación en forma de histograma de la distribución de estos antes y después de eliminar los valores marginales. Aparecen también los resultados de la media, median y desviación. Señal “3PLBB49.mat”

El resultado final en los dos ejemplos anteriores es el esperado, obteneos dos distribuciones de probabilidad de los valores de RT para cada señal muy similares a los de una distribución normal de estos.

## 4. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

Para el estudio de todos los puntos exceptuando el primero es necesario, el conocimiento de los anterior, ya que cada uno de ellos, depende de los resultados que se han obtenido en los otros puntos estudiados anteriormente en el presente proyecto.

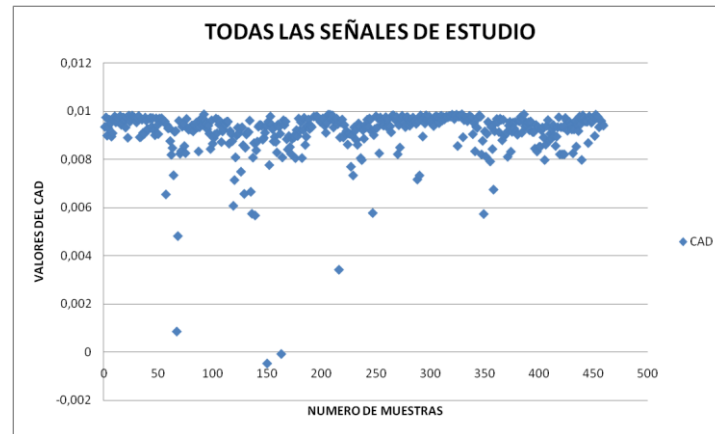
El estudio cuantitativo de las señales EMG ha demostrado que dependiendo de la variabilidad de las señales que se estudien los valores que obtendremos para el CAD y CCC será mayor cuanto menos variabilidad y menor cuanto más variabilidad.

Para el cálculo del CCC tenemos en cuenta la señal en toda su extensión, en cambio para el cálculo del CAD solamente utilizamos los 5 ms que se encuentran en torno al máximo de la espiga, por lo tanto podemos encontrar casos donde la espiga no tenga mucha variabilidad, es decir el valor del CAD se encuentre cercana a 0.01, y la señal tenga mucho ruido en el resto (valor de CCC pequeño, alejado del uno), y luego otros casos donde la señal no tiene casi variabilidad en toda su extensión, luego sus valores de CAD y CCC serán cercanos a 0.01 y 1 respectivamente y por último caso encontrarnos todo lo contrario señales donde existe mucha variabilidad en toda la señal, por tanto los valores de CAD y CCC serán lejanos de 0.01 y 1 respectivamente.

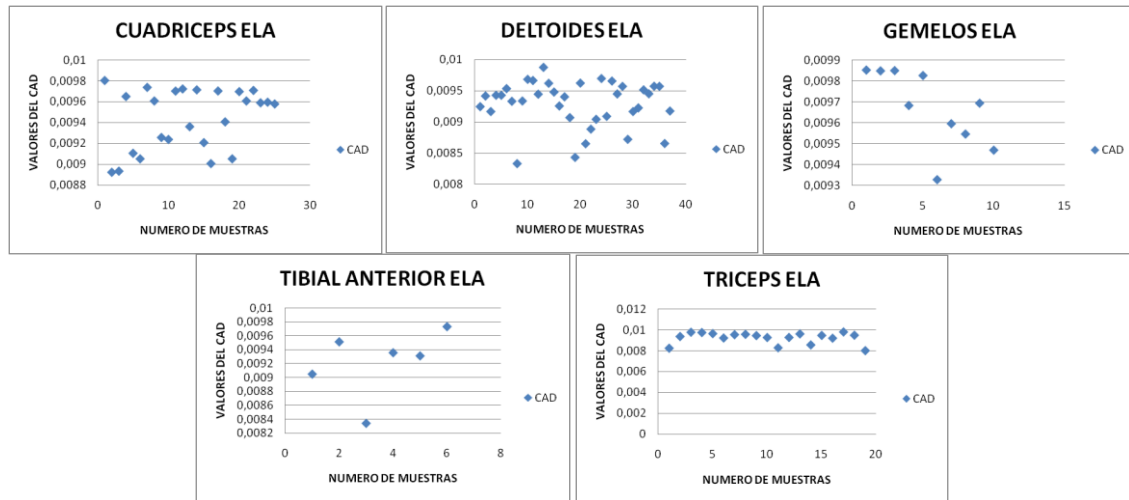
Si la toma de señales ha sido bueno la mayoría de los casos que vamos a encontrar se corresponden con el caso de encontrar poca variabilidad entorno al máximo de las espiga.

Con lo que respecta al CCC que nos da la variabilidad de toda la señal, este dato va a ser mas cambiante ya que vamos a encontrarnos con todo tipo de señales desde la que casi todas las capturas son prácticamente iguales y este valor es muy cercana a 1 y otras donde cada captura sigue un patrón distinto, obteniendo valores de CCC pequeños.

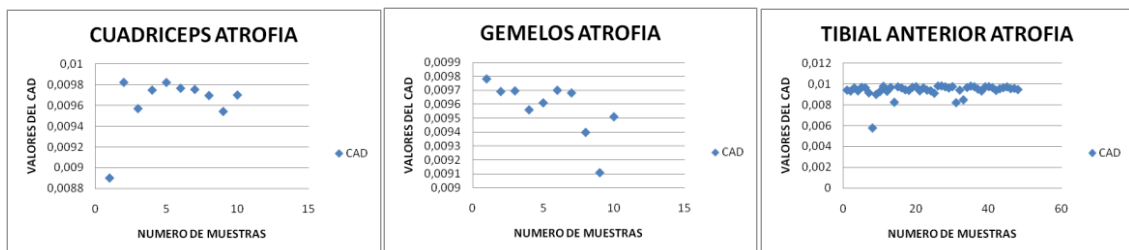
Conclusión, los valores que obtendremos en cualquier señal para el parámetro CAD siempre va a ser un valor menor de 0.01, y se aproximara mas a este cuanto menos variabilidad tenga la señal en torno a los cinco milisegundos de la espiga, o de lo contrario será un valor más alejado



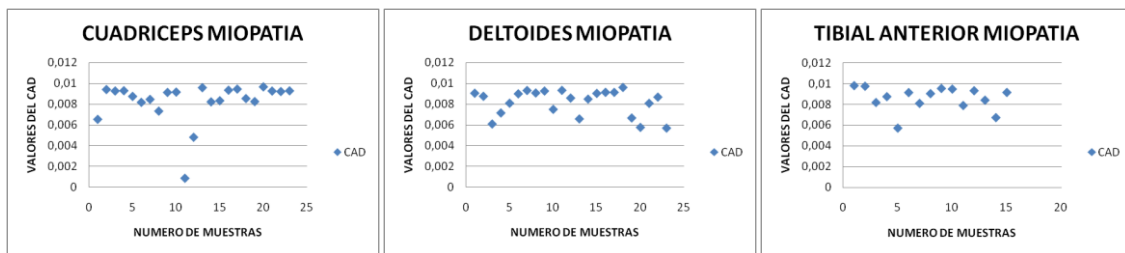
**ILUSTRACIÓN 130:** Diagrama de dispersión de todos los valores obtenidos para el parámetro CAD en las señales estudiadas.



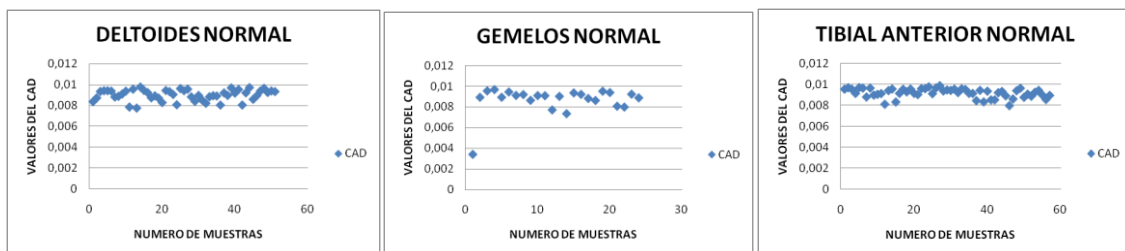
**ILUSTRACIÓN 131:** Diagramas de dispersión de todos los valores obtenidos para el parámetro CAD correspondientes al diagnóstico ELA, de varios músculos diferentes.



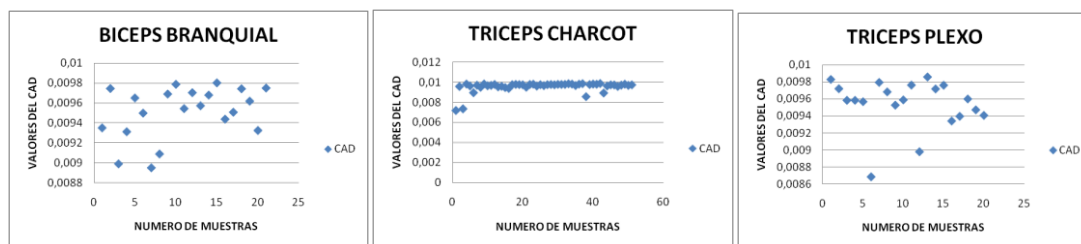
**ILUSTRACIÓN 132:** Diagramas de dispersión de todos los valores obtenidos para el parámetro CAD correspondientes al diagnóstico Atrofia, de varios músculos diferentes.



**ILUSTRACIÓN 133:** Diagramas de dispersión de todos los valores obtenidos para el parámetro CAD correspondientes al diagnóstico Miopatía, de varios músculos diferentes.



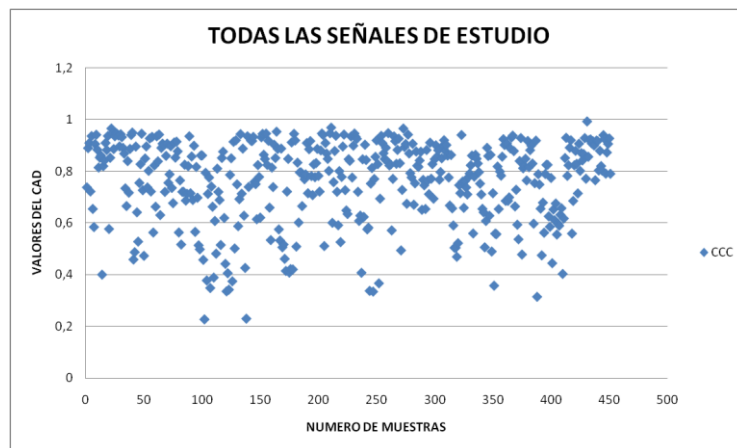
**ILUSTRACIÓN 134:** Diagramas de dispersión de todos los valores obtenidos para el parámetro CAD correspondientes al diagnóstico Normal, de varios músculos diferentes.



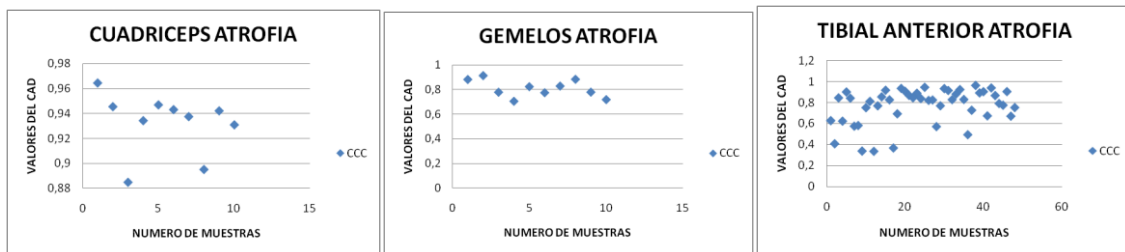
**ILUSTRACIÓN 135:** Diagramas de dispersión de todos los valores obtenidos para el parámetro CAD correspondientes a bíceps branquial, tríceps Charcot y tríceps plexo.

En cuanto a los valores del parámetro CCC, vemos que estos nunca serán mayores de uno, límite que marca la mínima variabilidad de las señales en tono su conjunto, y al igual que en el CAD este valor será menor cuanto más variabilidad exista entre las capturas de la señal que estudiemos.

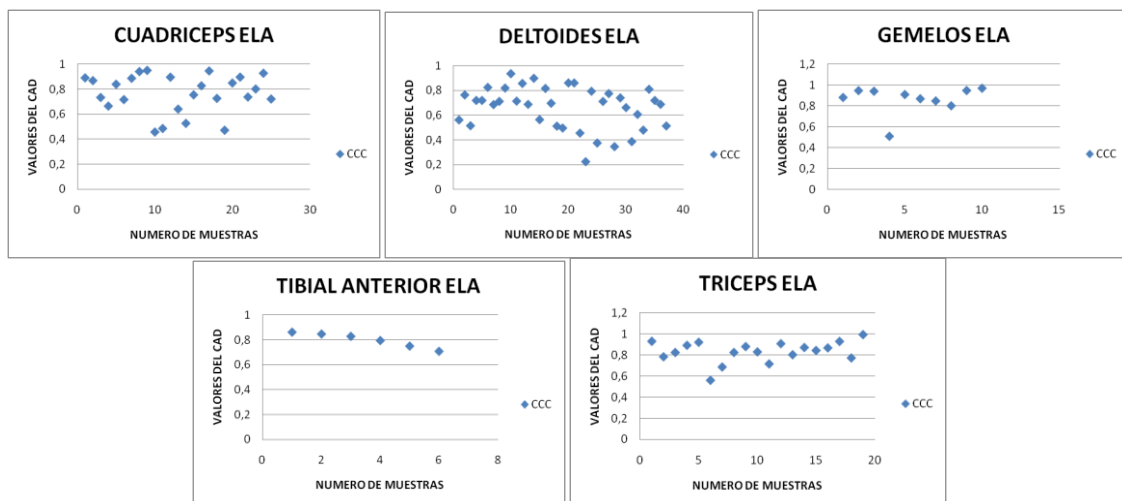
Como se puede observar en el diagrama de dispersión de los valores CCC la mayor concentración de estos se encuentra entre el 0.8 y el 1.



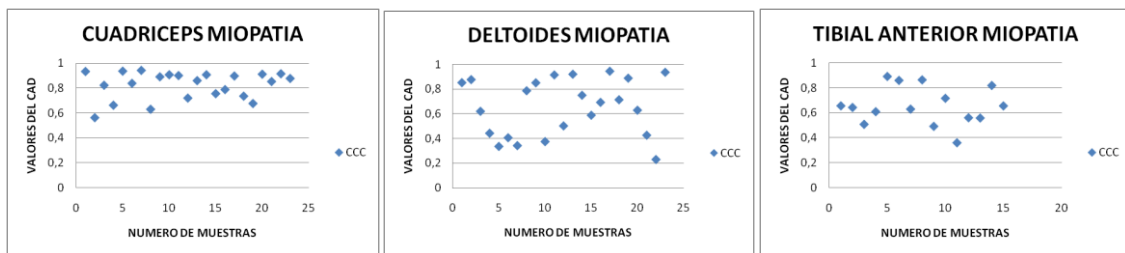
**ILUSTRACIÓN 136:** Diagrama de dispersión con todos los datos que se han obtenido de las señales estudiadas.



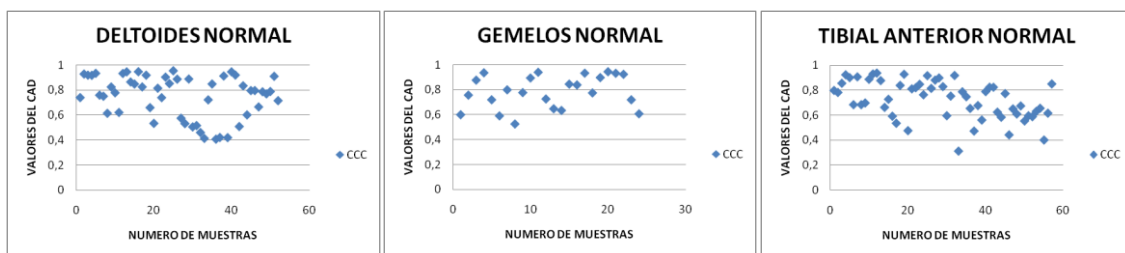
**ILUSTRACIÓN 137:** Diagramas de dispersión de todos los valores obtenidos para el parámetro CCC correspondientes al diagnóstico Atrofia de varios músculos diferentes.



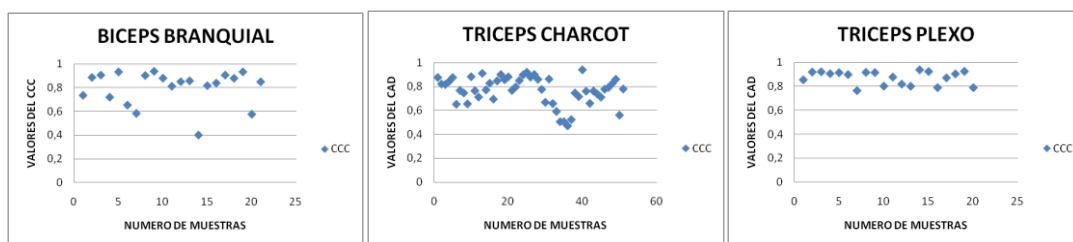
**ILUSTRACIÓN 138:** Diagramas de dispersión de todos los valores obtenidos para el parámetro CCC correspondientes al diagnóstico ELA de varios músculos diferentes.



**ILUSTRACIÓN 139:** Diagramas de dispersión de todos los valores obtenidos para el parámetro CCC correspondientes al diagnóstico Miopatía de varios músculos diferentes.



**ILUSTRACIÓN 140:** Diagramas de dispersión de todos los valores obtenidos para el parámetro CCC correspondientes al diagnóstico Normal de varios músculos diferentes.



**ILUSTRACIÓN 141:** Diagramas de dispersión de todos los valores obtenidos para el parámetro CCC correspondientes a bíceps branquial, tríceps Charcot y tríceps plexo.

Para el resto de puntos que se han tratado en este proyecto, necesitamos acotar las señales, dado que en todas ellas existe en su comienzo y final mucha información irrelevante que nos puede perjudicar y ralentizar el estudio.

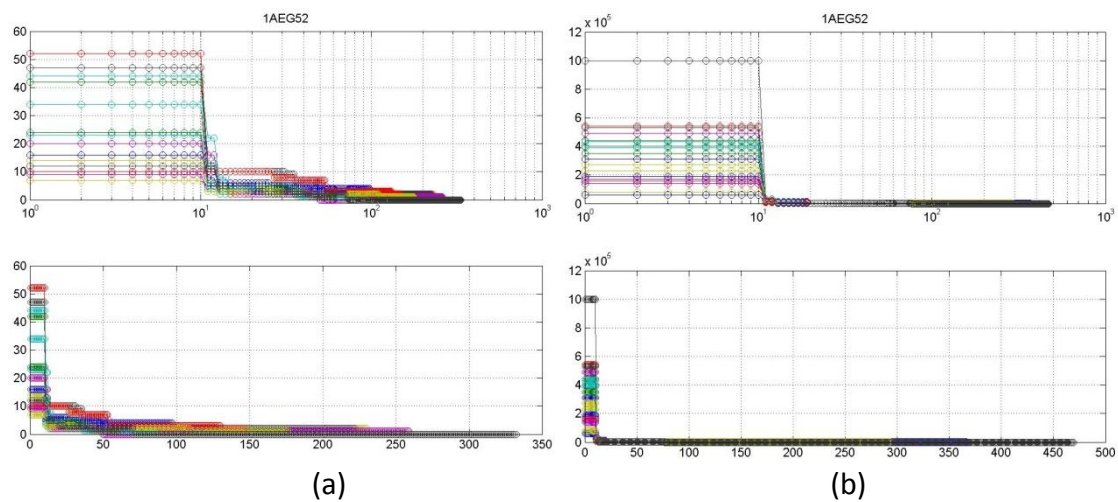
Este es un punto muy complicado que de momento se realiza a mano, ya que acotar este tipo de señales necesitaría una gran complejidad de algoritmos.

Como resultado del segundo punto de estudio, que se corresponde con la representación del número de turns en función de los umbrales, se ha llegado a la conclusión que para todas las señales EMG, esta variación se corresponde con una caída exponencial del número de turns.



Esta curva de variabilidad va a estar relacionada con la variabilidad de la señal y/o la existencia de ruido en esta, que nos producirá pequeñas o grandes turbulencias que se obtendrán al aplicar la función turns que damos en este proyecto.

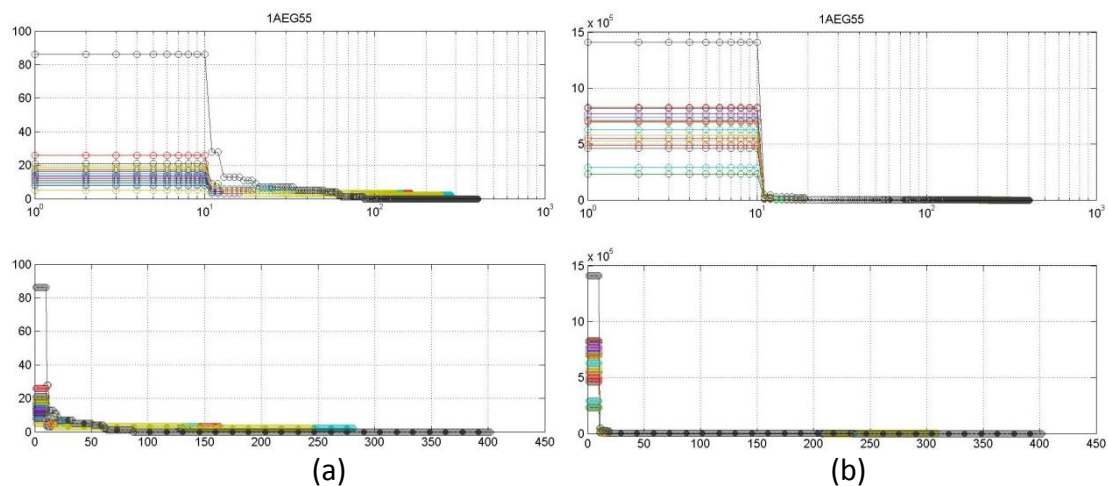
En algunos casos esta caída está perfectamente representada al poder estudiarse numerosos umbrales y tener un detalle muy grande de cómo es la curva. Este caso corresponde a aquellos en los que las capturas de las señales tienen numerosas subidas y bajadas de diferentes amplitudes, a lo largo del tiempo que son detectadas como posibles turns en función del umbral que indiquemos.



**ILUSTRACIÓN 142:** Curva de representación de la variación del numero de turns en función del umbral.

(a) para los umbrales buscados en las capturas de las señales.

(b) para una lista de umbrales predeterminados.



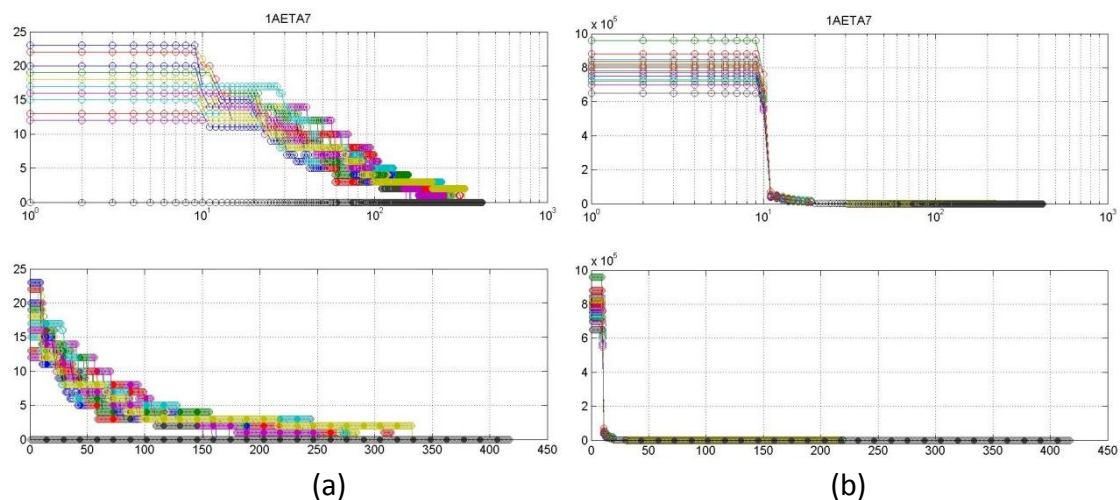
**ILUSTRACIÓN 143:** Curva de representación de la variación del numero de turns en función del umbral.

(a) para los umbrales buscados en las capturas de las señales.

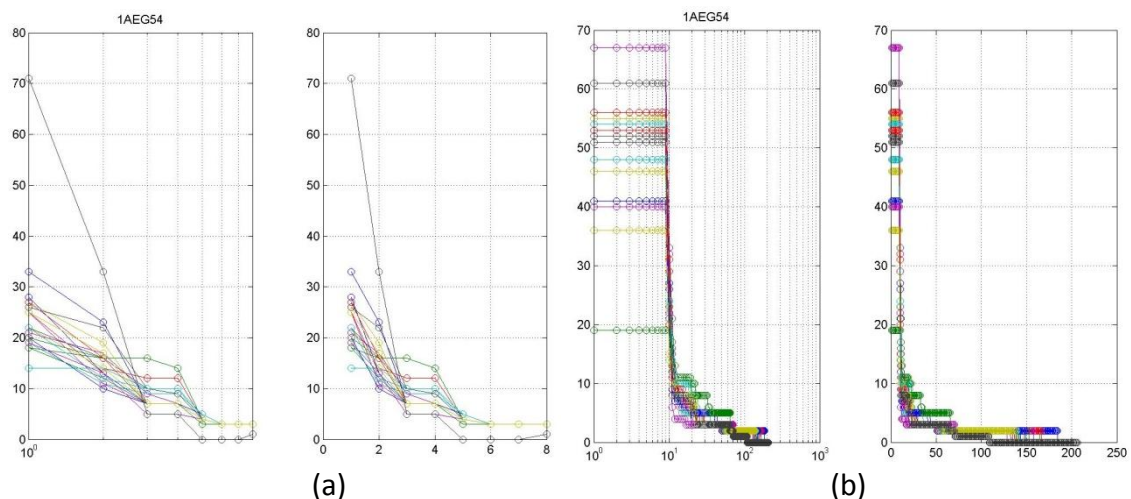
(b) para una lista de umbrales predeterminados.



En otros casos donde la señal no presenta muchos puntos de inflexión, o lo que es lo mismo no presenta mucha variabilidad y/o ruido, los umbrales posibles que se pueden estudiar son muchos menos, obteniéndose de este modo una caída del número de turns en la que la forma exponencial no termina de apreciarse muy claramente pero que si ponemos mas umbrales aunque para estos el número de turns correspondiente se repita, se acerca a ella.



**ILUSTRACIÓN 144:** Curva de representación de la variación del número de turns en función del umbral.  
(a) para los umbrales buscados en las capturas de las señales.  
(b) para una lista de umbrales predeterminados.



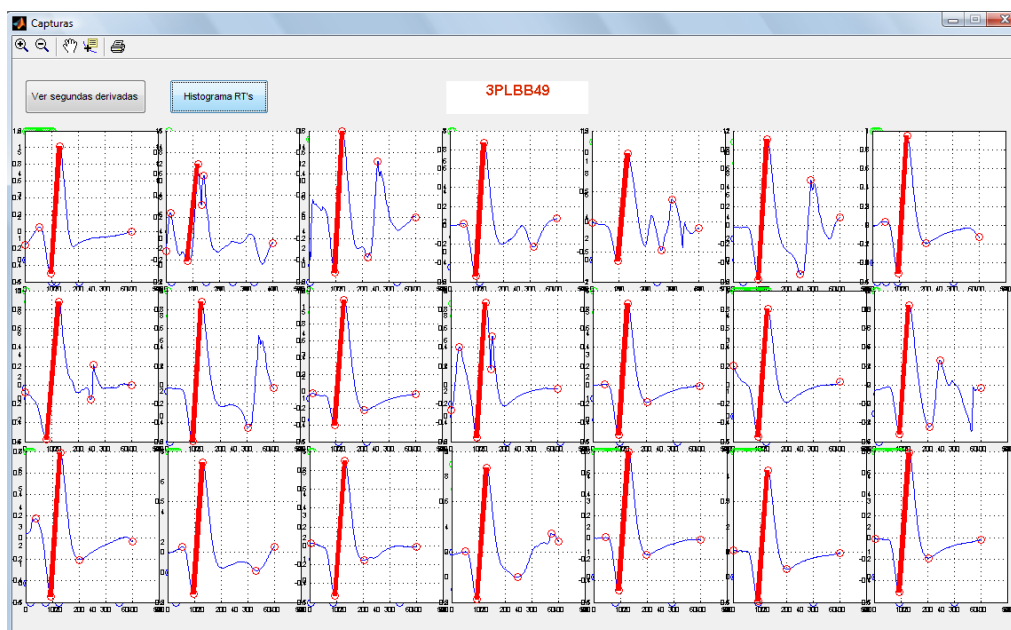
**ILUSTRACIÓN 145:** Curva de representación de la variación del número de turns en función del umbral.  
(a) para los umbrales buscados en las capturas de las señales.  
(b) para una lista de umbrales predeterminados.

Otra de las características que se ha visto en este estudio, es la detección de las espigas principales de los potenciales de las señales EMG.

En este punto se ha calculado a partir de los turns adecuados donde se encuentra la “recta” (ya que no es una recta, porque la señal no es lineal) de pendiente positiva mayor que corresponde con la espiga principal de la señal.

Con ayuda de la segunda derivada de las graficas obtenidas del punto anterior, calculamos el umbral que pertenece a la mayor diferencia entre numero de turns de umbrales positivos siendo la distancia entre los umbrales siempre la misma para que esta segunda derivada sea adecuada para poder obtener dicho valor.

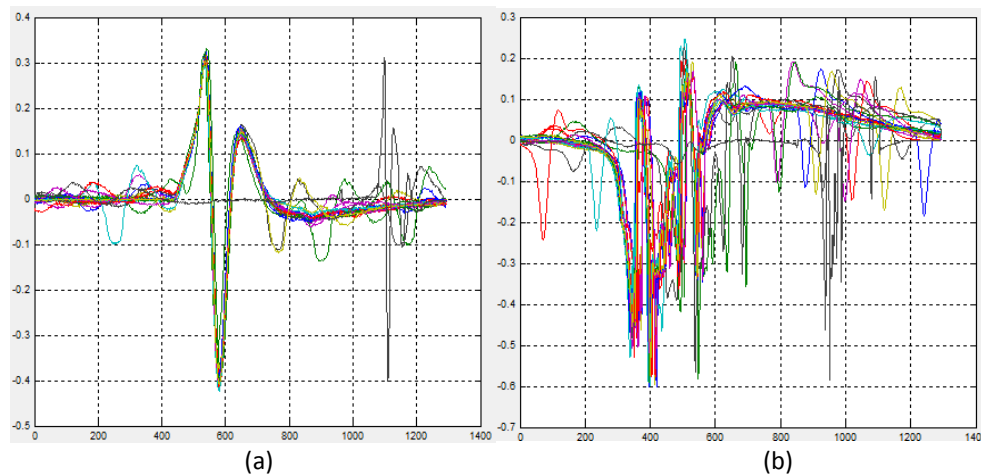
Como con los datos que hemos indicado en la mayoría de los casos nos dan como resultado varias pendientes de estas, se ha necesitado llegar a un acuerdo para decidir cuál es la espiga principal de estas, siendo este acuerdo finalmente que la pendiente de mayor amplitud, y a veces sí y otras no, también de mayor pendiente, pero siempre dando prioridad a la amplitud, marcara la espiga principal del potencial de cada captura de la señal EMG.



**ILUSTRACIÓN 146:** ejemplo de la detección de las espigas de una señal donde vemos que en algunas capturas podrían existir otras “rectas” de pendiente positiva que pudiesen ser consideradas como tales pero que al ser de menor amplitud y/o menor pendiente no se detectan, por causa de las restricciones marcadas por consenso.

Cabe destacar que se han detectado durante el estudio, dos casos especiales, los cuales también han sido tratados pero que es importante indicarlos, donde en uno de ellos la espiga principal se encuentra invertida y otro donde la señal presenta numerosos turns a lo largo de la espiga.

Para ambos obtenemos un resultado satisfactorio de la detección de espigas de los PUM's según los criterios seguidos.

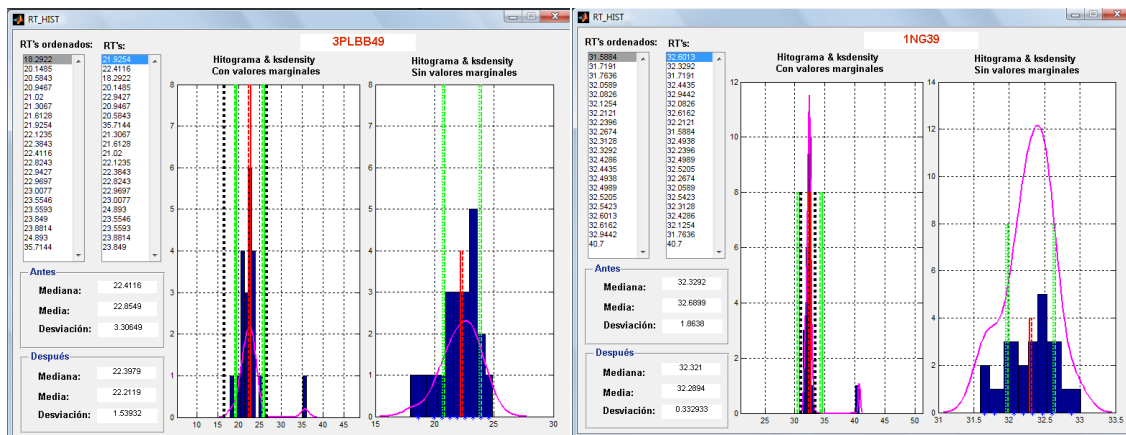


**ILUSTRACIÓN 147:** Ejemplos gráficos de señales correspondientes a los casos especiales. (a) señal con la espiga invertida. (b) señal si espiga principal detectable a simple vista.

Por último, llegamos a las conclusiones del punto final del proyecto donde se ha estudiado el tiempo de respuesta de las espigas de cada señal, al cual llamamos RT de las espigas.

Con los datos obtenidos llegamos a la conclusión de que si las espigas son correctamente detectadas, el histograma correspondiente a los RT de las señales EMG, va a seguir distribución normal, para todas ellas, como dato general.

Es decir los RT de las capturas de las señales EMG aptas para el estudio (sin tener en cuenta valores marginales correspondientes a capturas erróneas, “no aptas”), siguen una distribución de probabilidad de aparición normal.



**ILUSTRACIÓN 148:** Ejemplo del histograma obtenido para dos señales cualesquiera donde podemos ver que la curva de la distribución de los valores de RT sigue la forma de una distribución normal.

Como futuras investigaciones, la principal para poder automatizar este proceso sería acotar las señales mediante un algoritmo, algo bastante complicado y que necesitaría un largo proceso, pero que facilitaría el estudio.

Se ha pensado, en mejorarla selección de las capturas, eliminando aquellas no aptas, ya que no siguen el patrón general del resto o porque solo contienen ruido.

Además también podría realizarse un estudio más individualizado donde se podrían detectar casos como el de la señal donde la espiga principal se encuentra invertida, para así de este modo, colocarla de manera correcta y recalcular los datos correctamente.

Otro punto interesante sería completar o mejorar la selección de las capturas en aquellos casos donde no es fácil detectarlas a simple vista, en este proyecto se ha hecho de manera aproximada, obteniendo un resultado bastante bueno pero podría mejorarse.

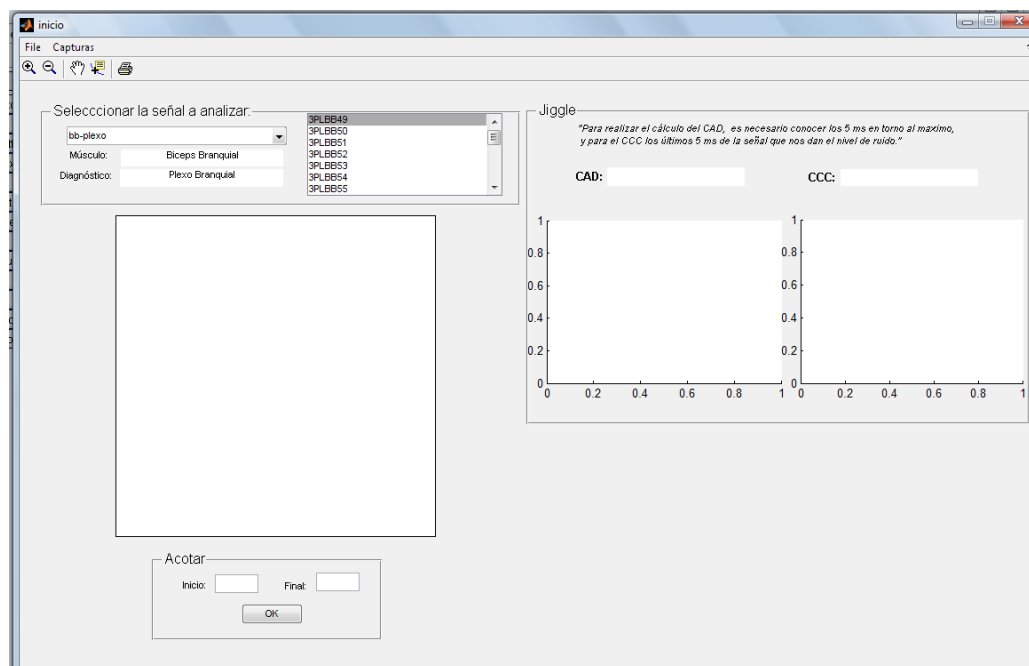
Como último punto para futuras investigaciones y que iría unido al de eliminar capturas “no aptas” sería optimizar los límites de la eliminación de los valores marginales.

## 5. ANEXO

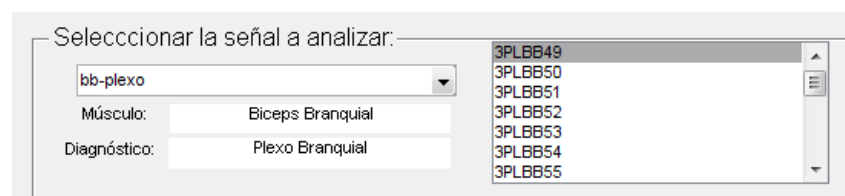
### 5.1. MANUAL DE LA APLICACIÓN

La aplicación que se ha desarrollado en este proyecto para mejorar el estudio de las señales EMG no ayuda a ver gráficamente como son y cuáles son los resultados correspondientes a cada uno de los puntos de desarrollo que se han llevado a cabo.

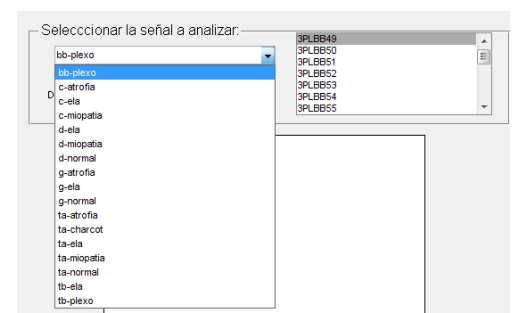
La aplicación comienza inicialmente mostrando la siguiente pantalla:



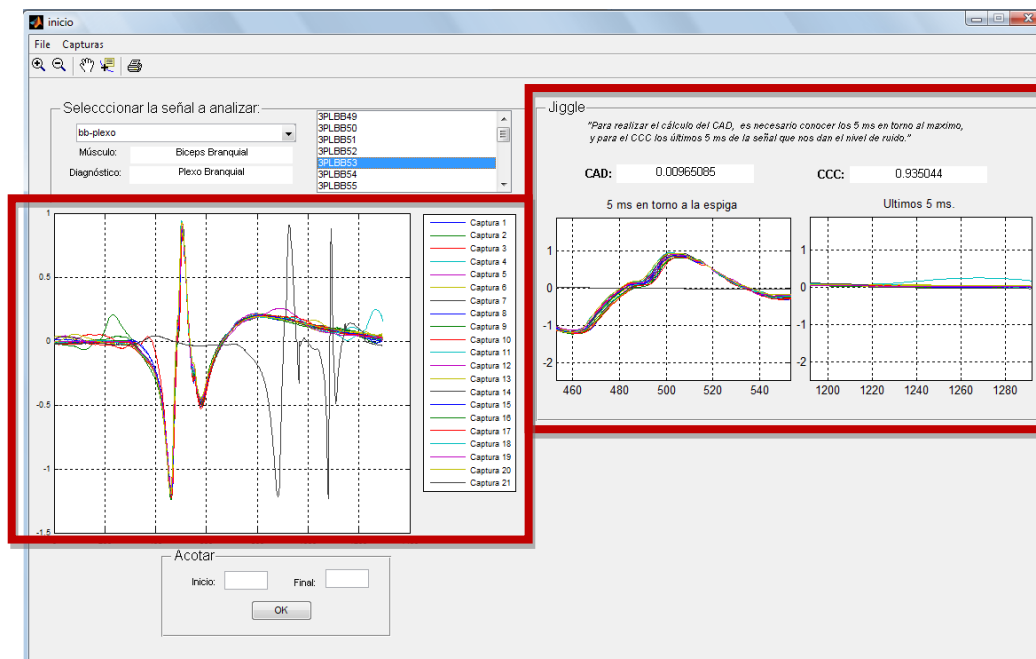
En ella encontramos un panel donde están los datos que nos ayudaran a seleccionar la señal que queremos estudiar.



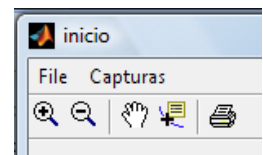
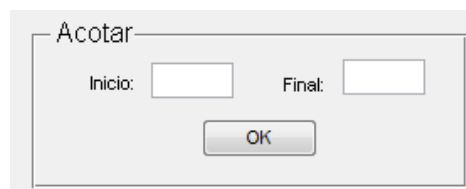
Dicho panel consta de un menú desplegable donde indicamos el tipo de anomalía y al seleccionarlo nos describe debajo a que musculo pertenece y cuál es el diagnostico. Al indicar esto se nos carga en el “list box” de la derecha de estos datos los nombres de las señales que corresponden con ese criterio y ahí seleccionaremos la señal que nos interesa.



Al seleccionar la señal del “list box”, nos aparecerá en el grafico de debajo la señal completa y en el panel que llamamos Jiggle de la derecha los datos correspondientes al CAD y CCC (indicativas de la variabilidad) de la señal con las respectivas señales necesarias para su cálculo como los son los cinco milisegundo en torno al máximo de la espiga y los últimos cinco milisegundos de la señal necesarios para el cálculo del CAD y CCC respectivamente.

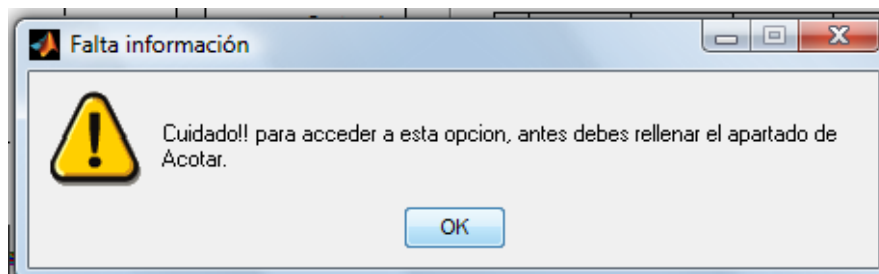


Una vez hemos seleccionado la señal que queremos y tenemos los primeros datos correspondientes a ella para poder acceder al menú “Capturas” tendremos que rellenar los campos del panel “Acotar” donde indicaremos el inicio y final de la señal, eliminando información irrelevante de estos tramos.

The 'Acotar' dialog box is shown, featuring two input fields labeled 'Inicio' and 'Final', and an 'OK' button at the bottom.

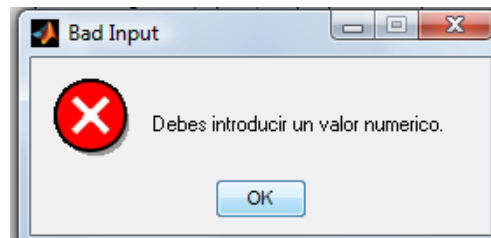
Si no introducimos valores en estos campos e intentamos acceder al menú “Capturas” el programa nos mostrara el siguiente mensaje de atención.



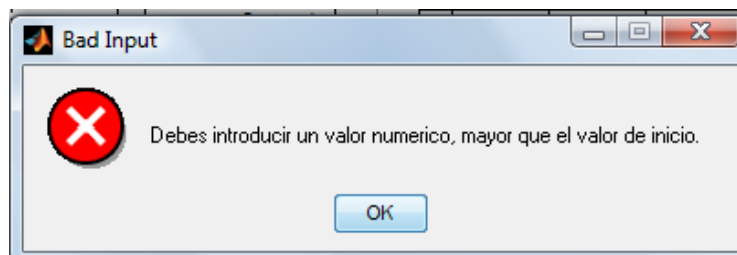
Además los datos que introduzcamos en para el inicio y final deberán ser valores validos en caso contrario la aplicación también nos los avisara.

Los casos que se pueden dar son:

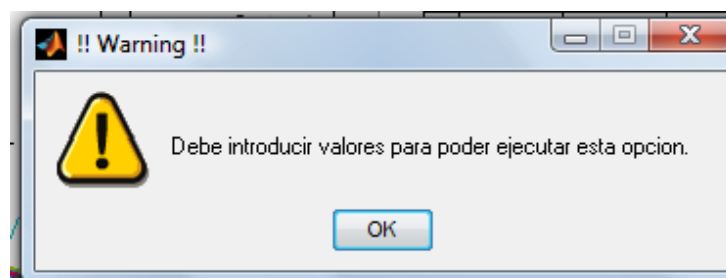
- a) Introducir valores no numéricos.



- b) Que el inicio sea mayor que el final o lo que es lo mismo que el final sea menor que el inicio.

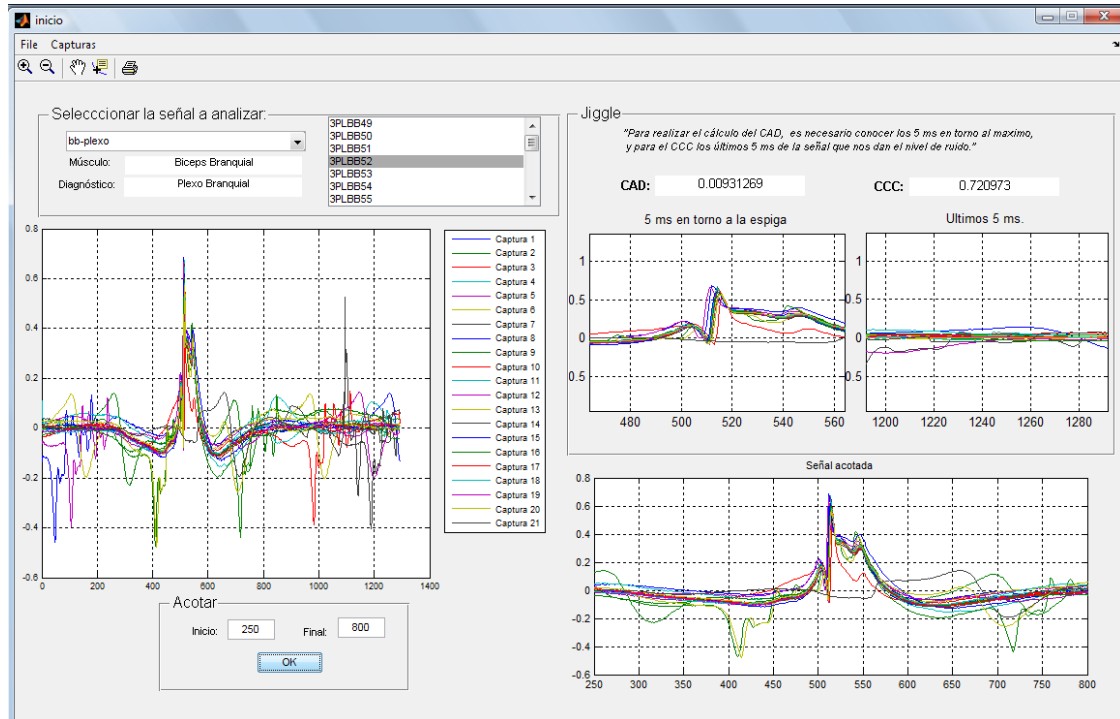


- c) Introducir un solo dato ya sea el inicio o el final.

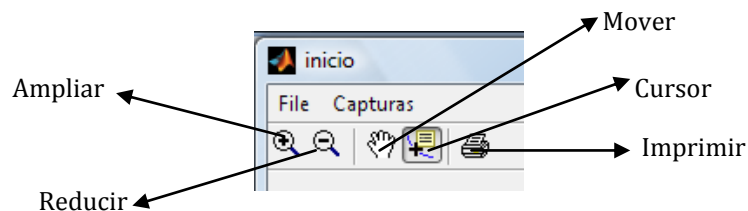




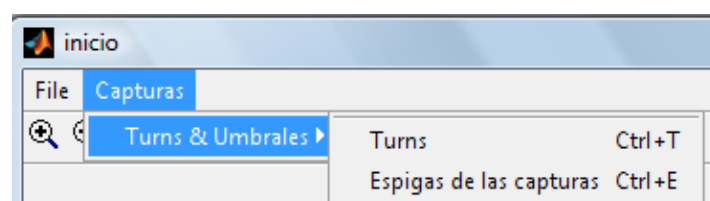
Si todos los datos introducidos son correctos a la derecha de los datos introducidos en el panel de acotar, al hacer clic sobre el botón acotar nos aparecerá la grafica correspondiente a la señal acotada.



Como podemos observar debajo del menú tenemos las opciones de ampliar, reducir, mover, cursor e imprimir sobre cualquiera de los gráficos que tenemos presentes en la pantalla.



Como ya hemos acotado la señal ahora si podemos acceder al menú de la aplicación que hemos llamado “Capturas”, donde nos aplacerán las opciones de “Turns” y “Espigas de las capturas”

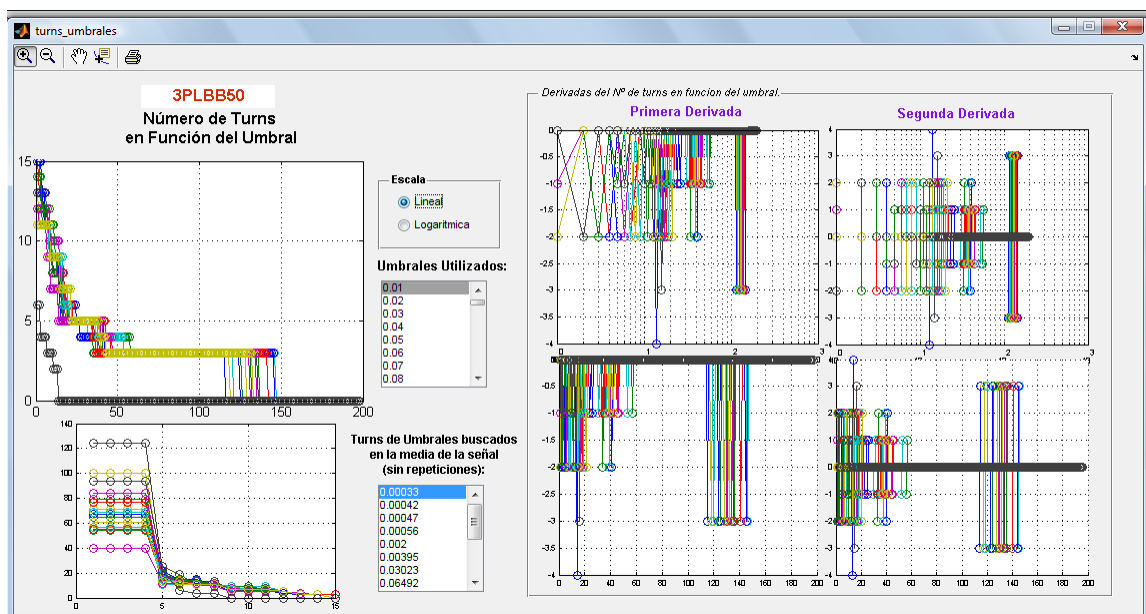


Cada uno de estos menús realiza unas operaciones distintas sobre la señal introducida previamente acotada.

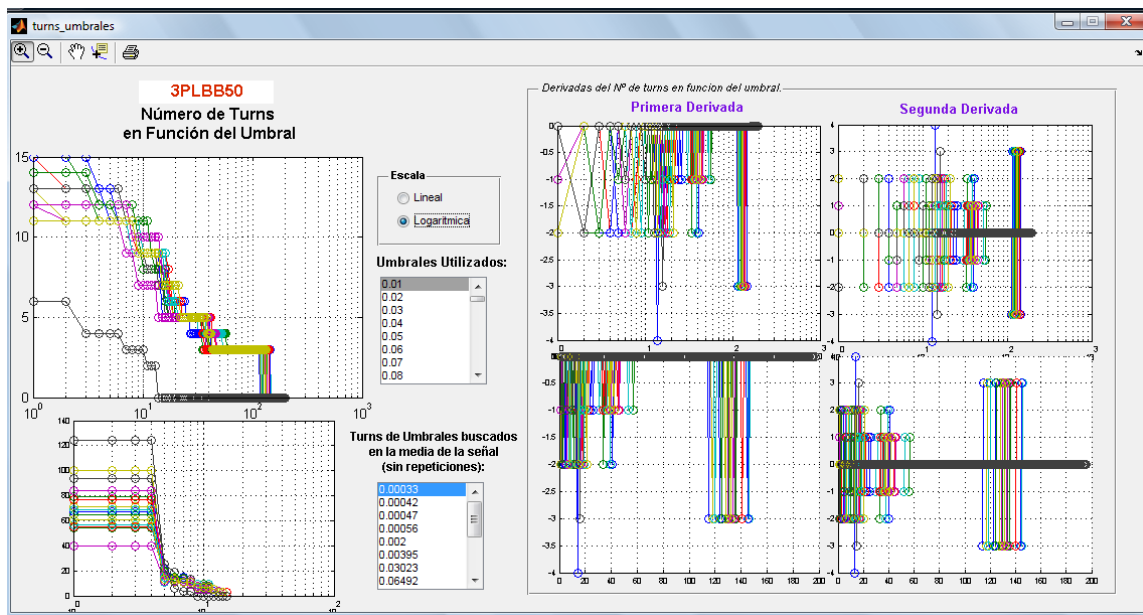
La primera de las opciones que nos da este menú es la de “Turns” a partir de la cual podemos ver los turns que se encuentran con cada uno de los umbrales que se indican en la lista que esta titulada como “Umbrales Utilizado:” donde podemos ver todas los umbrales que se han utilizado para la obtención de dichos turns.

En la grafica más grande podemos ver como varia el número de turns en función del umbral, pudiendo cambiar su escala en el eje x entre logarítmica y lineal con el “radio button” “Escala”.

Además debajo de esta tenemos otra curva de caída del numero de turns en función de los umbrales pero en este caso los umbrales utilizados los cuales se indican a la lado de la grafica son umbrales obtenidos de la media de la señal redondeados a tres decimales y sin repeticiones.



Escala lineal

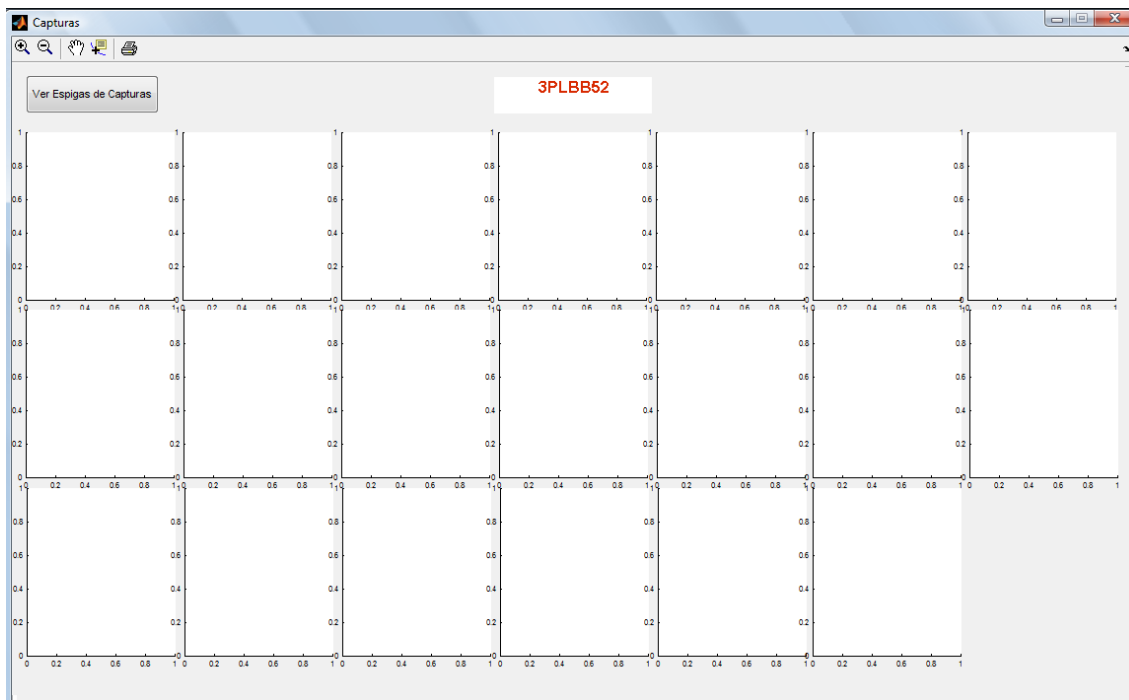


Escala logarítmica

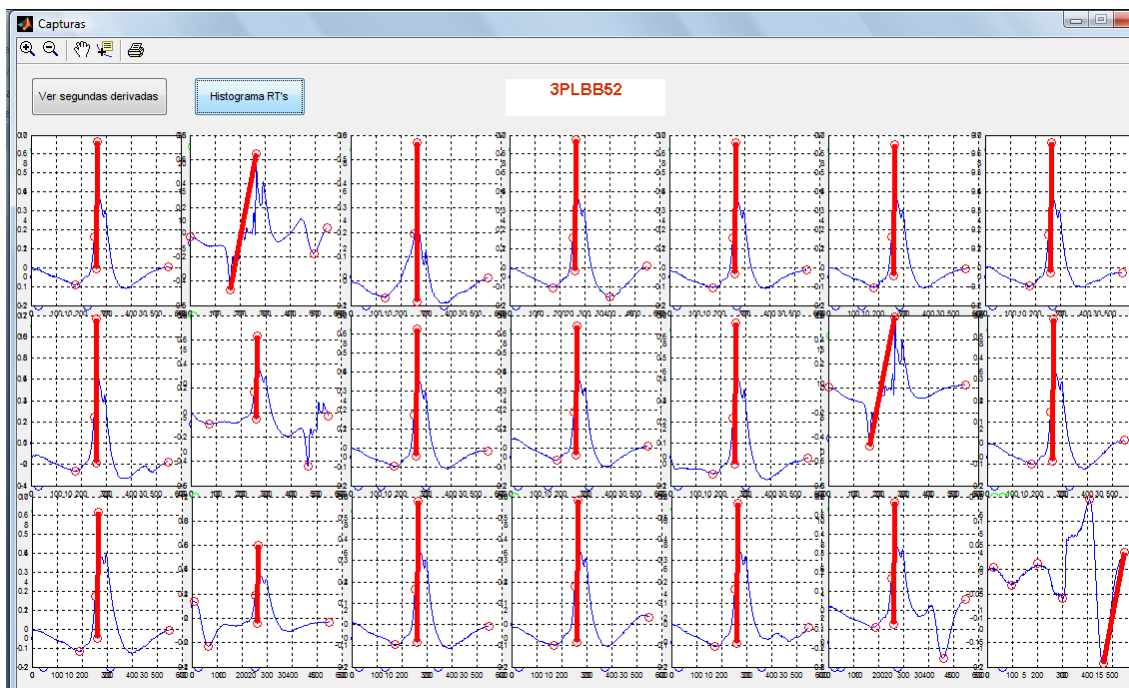
Debajo de esta además también podemos ver los umbrales que se han utilizado para poder ver cuál es la variación del numero de turns en función de los ellos.

A la derecha de la grafica Turns&Umbrales tenemos la primera y segunda derivada de dicha grafica en escala logarítmica y línea.

La segunda opción del menú es “Espigas de las capturas”, cuando accedemos a ella nos aparece una ventana donde tenemos 20 graficas vacías, para que estas nos representen algo deberemos pulsar sobre el botón “Ver espigas de capturas”.

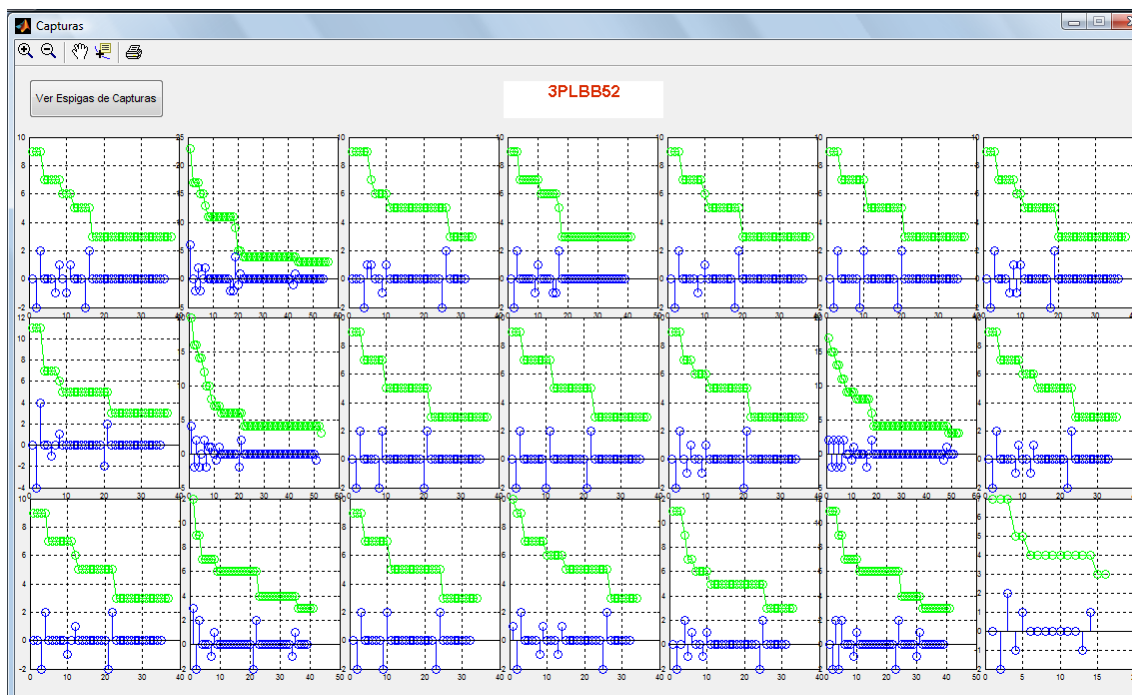


Una vez pulsado “Ver espigas de capturas” tendremos la ventana de la siguiente manera ya que los controles cambian, y nos aparecen las capturas son sus espigas marcadas en cada una de ellas.



Podemos apreciar que el botón de “Ver espigas de capturas ha pasado a llamarse “ver segundas derivadas” y al lado de este aparece otro botón que lleva como nombre “Histograma RT’s”.

Si clicamos sobre ver segundas derivadas en las graficas donde ahora tenemos las capturas con sus respectivas espigas, aparecerán las segundas derivadas correspondientes a cada espiga que se han utilizado para la obtención de las espigas, junto con la curva de caída del numero de turns de cada espiga respectivamente.



Además el botón vuelve a renombrarse como “Espigas de las capturas” el de “Histograma RT’s” desaparece. Con lo cual cada vez que cliquemos pasaremos de representar espigas de las capturas o segundas derivadas de de estas.

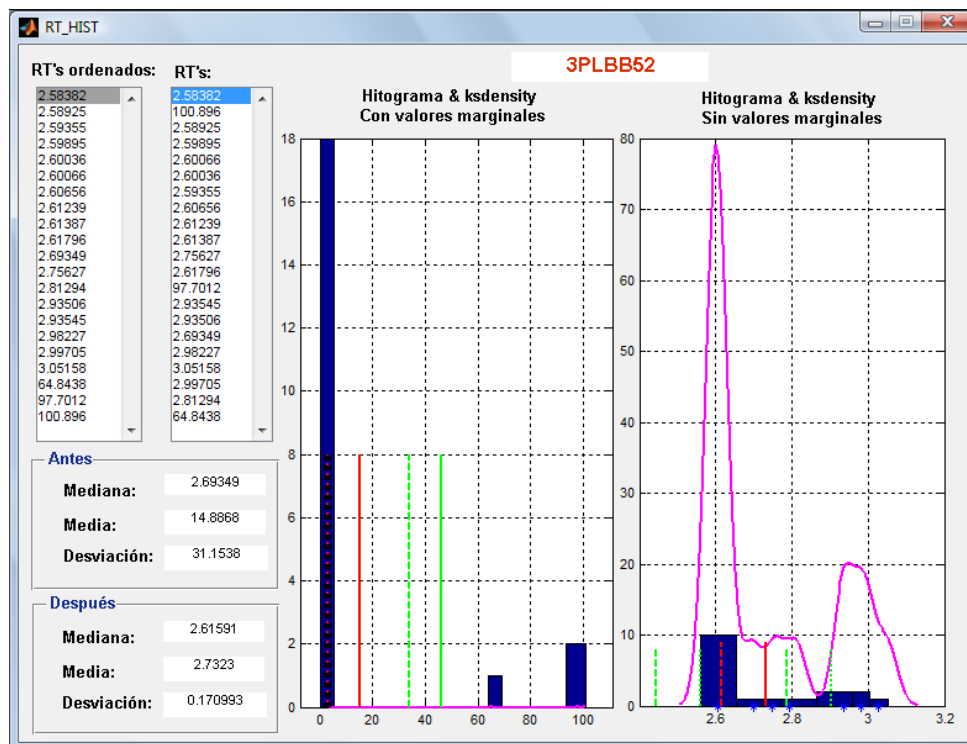
Al cerrar estas ventanas volveremos a la pantalla de inicio.

Si por el contrario clicamos sobre el botón “Histograma RT’s” nos aparecerá otra ventana con los histogramas de los valores que se han calculado de los RT de cada espiga.

Esta ventana contiene los siguientes elementos:

- ✓ Nombre de la señal en estudio.
- ✓ Lista de valores de los RT ordenados de mayor a menor.

- ✓ Lista de los valores de RT en orden de aparición.
- ✓ Panel con los datos de la media, mediana y desviación estándar de los RT antes de eliminar los valores marginales del histograma.
- ✓ Panel con los datos de la media, mediana y desviación estándar de los RT después de eliminar los valores marginales del histograma.
- ✓ Grafica con el histograma, la función de probabilidad de densidad, media, mediana, media  $\pm$  desviación estándar, mediana  $\pm$  desviación estándar, con todos los valores de RT incluidos los marginales.
- ✓ Grafica con el histograma, la función de probabilidad de densidad, media, mediana, media  $\pm$  desviación estándar, mediana  $\pm$  desviación estándar, después de haber eliminado los valores marginales.



Al cerrar esta ventana volveremos a la de capturas.

## 5.2. CÓDIGO COMPLETO DE LA APLICACIÓN

```
filen=strcat('D:\EMG\MATLAB\',filen);
load (filen);
f=20000;           % Frecuencia de muestreo.
u=f*0.005;         % numero de muestras que representan 5ms de la señal.
[m,n]=size(y);
%-----VARIACIÓN CADA 5MS DE LAS SEÑALES DE Y-----
    S=zeros(n, (length(y)-u));
    med=zeros(n, (length(y)-u));
    for k=1:1:(length(y)-u)
        y_5ms=y(k:1:(k+u),:);
        S(:,k)=std(y_5ms);
        med(:,k)=mean(y_5ms);
    end
%-----CALCULO DEL CAD-----
    yb=y((m-u):1:m,:); % Últimos 5 ms de la señal.
    dyb=abs(diff(yb)); % Diferencia de capturas consecutivas de la
señal anterior.
    C=mean(median(dyb,2));
    ejes=[(m-u) m 2*min(min(y)) 2*max(max(y))];
    axes(handles.axes4);cla;
    plot(y);axis(ejes);title('Últimos 5 ms.');
```

```
grid
[v,l]=max((y(1:1:m,:)));
r=mode(l);
u=u/2;
yy=y((r-u):1:(r+u),:); % Cogemos solo los 5ms alrededor de la
espiga.
    ejes=[(r-u) (r+u) 2*min(min(y)) 2*max(max(y))];
    dy=abs(diff(yy));
    medY= median(dy,2);
    CAD=mean(medY-C)/sum(medY);
% Si el valor obtenido para el CAD es negativo:
    if CAD<0
        if length(find(r==1))==1;
            [cual,r]=max(mean(y,2));
            yy=y((r-u):1:(r+u),:); % Cogemos solo los 5ms
alrededor de la espiga.
            ejes=[(r-u) (r+u) 2*min(min(y)) 2*max(max(y))];
            dy=abs(diff(yy));
            medY= median(dy,2);
            CAD=mean(medY-C)/sum(medY);
        end
    end
plot(y);axis(ejes);title('5 ms en torno a la espiga');
```

```
grid
% -----CALCULO DEL CCC-----
% Para calcula el CCC:
w=1:1:n;
colum=sum(y(:,w));
[com,col]=find(colum==0);
if isempty(col)
    col=1
else
    col=col(length(col))+1;
end
b=corr(y(:,col:1:(n-1)),y(:,(col+1):1:n));
bb=diag(b);
CCC=mean(bb);
```



```
%% Eliminamos los valores que son más grandes que la diferencia entre
%% el punto máximo y mínimo de la señal
maxdiff=max(max(ya))-min(min(ya));
%% -----
for k=1:n;
    vect_volt=transpose(ya(:,k));
    maxdiff=max(vect_volt)-min(vect_volt);
    %% umbrales utilizados para ver la variación del numero de turns
    %% en función del umbral.
    umbrales=[0.01:0.01:abs(maxdiff)/2];    %si con la media de la
    %% señal no sale bien pondremos esto.
    num_turns=zeros(1,length(umbrales));
    %% Creamos un array donde guardaremos todos los valores de las
    %% espigas.
    Espigas= zeros(4,n);
    for i=1:length(umbrales);
        mup_turns=[]; turn_sign=[];
        [mup_turns,turn_sign]=turns(vect_volt,umbrales(i));
        if length(mup_turns)==1 & mup_turns(1)==0;
            num_turns(i)=0;
        else
            num_turns(i)=length(mup_turns);
        end
        num_turns_m2(i,k)=num_turns(i);
    end
    %% aplicando la segunda derivada tendremos los puntos donde se
    %% produce el
    %% mayor cambio de valor del numero de turns.
    derivada2=diff(diff(num_turns));
    plot(num_turns,'g-o'); hold on;
    stem(derivada2), grid
    hold off;
    umb_validos=[];
    if not isempty(derivada2);
        picos=eliminar_repetidos(derivada2(4:1:length(derivada2)),0);
        picos=picos(find(picos>0));
        for i=1:length(picos)
            umb_validos=[umb_validos find(picos(i)==derivada2)];
        end
        if not isempty(umb_validos);
            if umb_validos(length(umb_validos))==1;
                [mup_turns,turn_sign]=turns(vect_volt,umbrales
                    (umb_validos(length(umb_validos))));
            else
                [mup_turns,turn_sign]=turns(vect_volt,umbrales
                    (umb_validos(length(umb_validos))+1));
            end
            if k==1;turns_capt_ant=length(mup_turns);
                if turns_capt_ant<=4;
                    turns_capt_ant=5;
                elseif turns_capt_ant>=8;
                    turns_capt_ant=7;
                end
            end
        else
            picos=eliminar_repetidos(derivada2(2:1:length(derivada2)),
                0);
            picos=picos(find(picos>0));
```

```
for i=1:length(picos)
    umb_validos=[umb_validos find(picos(i)==derivada2)];
end
if not isempty(picos);
    [mup_turns,turn_sign]=turns(vect_volt,umbrales,...
                               (umb_validos(length(umb_validos))));
    if k==1;turns_capt_ant=length(mup_turns);
        if turns_capt_ant<=4;turns_capt_ant=5;
        elseif turns_capt_ant>=8;turns_capt_ant=7;end
    end
end
end
if length(mup_turns)+1<=turns_capt_ant
    if not isempty(umb_validos);
        mover=1;
        while length(mup_turns)<turns_capt_ant &,...
            (length(umb_validos)-mover)~=0,
            [mup_turns,turn_sign]=turns(vect_volt,umbrales,...
                                         (umb_validos(length(umb_validos)-mover)));
            mover=mover+1;
        end
        if length(mup_turns)>7;
            [mup_turns,turn_sign]=turns(vect_volt,umbrales,...
                                         (umb_validos(length(umb_validos))-mover-2));
        end
    end
elseif length(mup_turns)>turns_capt_ant+1;
    mover=0.01;
    while length(mup_turns)>turns_capt_ant;
        [mup_turns,turn_sign]=turns(vect_volt,umbrales,...
                                     (umb_validos(length(umb_validos)))+mover);
        mover=mover+0.01;
    end
    if mup_turns==0;
        mover=mover-0.02;
        [mup_turns,turn_sign]=turns(vect_volt,umbrales,...
                                     (umb_validos(length(umb_validos)))+mover);
    end
end
end
if not(mup_turns==0 );
    plot(vect_volt); hold on,
    plot(mup_turns,vect_volt(mup_turns),'ro'), grid
    hold off;
    if mup_turns(1)==0; mup_turns(1)=1;end
    amplitud=diff(vect_volt(mup_turns));
    tiempo=diff(mup_turns);
    pendiente=amplitud./tiempo;
    [amp_max,pos]=max(amplitud);
    [pend_max,pos2]=max(pendiente);
    if pos==pos2;
        espiga=[mup_turns(pos) mup_turns(pos+1)];
    else
        espiga=[mup_turns(pos) mup_turns(pos+1)];
    end
    if not(isempty(pos)) & not(isempty(pos2))
        Espigas(:,k)=[espiga(1) espiga(2) vect_volt(espiga(1)),...
                     vect_volt(espiga(2))];
        line([espiga(1) espiga(2)],[vect_volt(espiga(1)),...
                                   vect_volt(espiga(2))],'Color','r','LineWidth',4);
    end
end
```

```
end
else
    clear axes;
    warndlg('No se han encontrado espigas para esta señal!!',...
        'My Warn Dialog', 'modal');
    pause;
end
%-----CALCULO DEL RT / REPRESENTACIÓN DEL HISTOGRAMA-----
% Modificación del RT ya que lo estamos considerando como si la
% subida fuese lineal y no es así, tenemos pequeñas
% curvaturas en el inicio y final de la subida.
maxe=vect_volt(espiga(2)); % Punto de Inicio de la espiga.
mine=vect_volt(espiga(1)); % Punto final de la espiga.
porc5=(maxe-mine)*0.05; % Amplitud correspondiente a el 5%
% de la subida suponiendo que es lineal.
v_espiga=vect_volt(espiga(1):1:espiga(2)); % seleccionamos el
% trozo de señal que corresponde a la espiga.
% Buscamos donde se encuentra el 5% de la señal de
subida
valor_5porci=mine+porc5; %Valor que suponemos que tiene la
% espiga cuando ha subido el 5% de la señal
p5i=find(v_espiga>valor_5porci)+espiga(1)-1;
v5i=vect_volt(p5i);
v5=valor_5porci;
S=p5i(1);
if S>1;
    A=S-1; % posiciones de los valores que tenemos de señal
% anterior y posterior al calculado para el 5%.
else
    A=S;
end
vS=vect_volt(S);vA=vect_volt(A); % valores para las posiciones
% anteriores
pv5=(A*(v5-vS)+S*(vA-v5))/(vA-vS); %Posición calculada para el
% 5% de subida
% Buscamos donde se encuentra el 95% de la señal de subida
valor_95porci=vect_volt(espiga(2))-porc5; %Valor que
% suponemos que tiene la espiga cuando ha subido el 95% de la
señal
p95f=find(v_espiga<valor_95porci)+espiga(1)-1;
v95f=vect_volt(p95f);
v95=valor_95porci;
A2=p95f(length(p95f));S2=A2+1; % posiciones de los valores
% que tenemos de señal anterior y posterior al calculado para el
% 5%.
if A2==length(vect_volt);
    S2=A2;
else
    S2=A2+1; % posiciones de los valores que tenemos de
% señal anterior y posterior al calculado para el 5%.
end
vS2=vect_volt(S2);vA2=vect_volt(A2); % valores para las
% posiciones anteriores
pv95=(A2*(v95-vS2)+S2*(vA2-v95))/(vA2-vS2); %Posición calculada
% para el 5% de subida
RT(k)=pv95-pv5;
end
```

```
%% Antes de la eliminación de los valores marginales del histograma.
aRT=min(RT):roundn((mean(diff(sort(RT)))),-2):max(RT);
[F,art]=ksdensity(RT);
acum=hist(RT,aRT);
hist(RT,aRT);title(strcat('INCREMENTO ',num2str((max(RT)-...
    min(RT))/std(RT)/2)));

hold on;
plot(art,F*10,'magenta','linewidth',2);grid;
xlim([min(art)-10 max(art)+10]);grid;
line([median(RT) median(RT)],[0 8],'color','red','LineStyle',...
    '--','linewidth',2);
line([mean(RT) mean(RT)],[0 8],'color','red','linewidth',2);
line([median(RT)-std(RT) median(RT)-std(RT)],[...
    [0 8],'color','green','LineStyle','--','linewidth',2);
line([median(RT)+std(RT) median(RT)+std(RT)],[...
    [0 8],'color','green','LineStyle','--','linewidth',2);
line([mean(RT)-std(RT) mean(RT)-std(RT)],[...
    [0 8],'color','green','linewidth',2);
line([mean(RT)+std(RT) mean(RT)+std(RT)],[...
    [0 8],'color','green','linewidth',2);
xlabel('tiempo/muestras');
ylabel('Amplitud/voltaje')

[maxconc,indmax]=max(F);

RT21=art(find(roundn(F(1:indmax),-2)==0));
if isempty(RT21);RT21=art(1);
    v1=F(1);
else RT21=RT21(length(RT21));
    v1=F(length(find(roundn(F(1:indmax),-2)==0)));
end

RT22=art(find(roundn(F(indmax:length(F)),-2)==0)+indmax-1);
if isempty(RT22);
    RT22=art(indmax);
else
    RT22=RT22(1);
end
mean(F(find(roundn(F(1:indmax),...
    -3)==0):find(roundn(F(indmax:length(F)), -3)==0)))

aRT2=RT21:roundn((mean(diff(sort(RT)))),-3):RT22;
line([RT21 RT21],[...
    [0 8],'color','black','LineStyle',':','linewidth',3);
line([RT22 RT22],[...
    [0 8],'color','black','LineStyle',':','linewidth',3);

%% Después de la eliminación de los valores marginales del
histograma.
RT2=RT(find((RT<RT22) & (RT>RT21)));

[F,art2]=ksdensity(RT2) % F=ksdensity(RT2,aRT2);
[acum,rangos]=hist(RT2);
hist(RT2,rangos(find(acum~=0)));
hold on;
```

```
plot(art2,F*10,'magenta','linewidth',2);grid on;

line([median(RT2) median(RT2)],[0 max(acum)-1],...
      'color','red','LineStyle','--','linewidth',2);
line([mean(RT2) mean(RT2)],[0 max(acum)-1],...
      'color','red','linewidth',2);
line([median(RT2)-std(RT2) median(RT2)-std(RT2)],[0 8],...
      'color','green','LineStyle','--','linewidth',2);
line([median(RT2)+std(RT2) median(RT2)+std(RT2)],[0 8],...
      'color','green','LineStyle','--','linewidth',2);
line([mean(RT2)-std(RT2) mean(RT2)-std(RT2)],[0 8],...
      'color','green','LineStyle',':', 'linewidth',2);
line([mean(RT2)+std(RT2) mean(RT2)+std(RT2)],[0 8],...
      'color','green','LineStyle',':', 'linewidth',2);
xlabel('tiempo/muestras');
ylabel('Amplitud/voltaje');

for k=1:n;
    vect_volt=transpose(ya(:,k));
    fin=max(max(ya))-min(min(ya));
    umbrales=[0.01:0.01:fin];
    num_turns=zeros(1,length(umbrales));
        for i=1:length(umbrales);
            mup_turns=[]; turn_sign=[];
            [mup_turns,turn_sign]=turns(vect_volt,umbrales(i));
            if length(mup_turns)==1 & mup_turns(1)==0
                num_turns(i)=0;
            else
                num_turns(i)=length(mup_turns);
            end
            if i==1;
                num_turns_m2(i,k)=num_turns(i)/umbrales(i);
            else
                num_turns_m2(i,k)=num_turns(i)/,...
                    (umbrales(i)-umbrales(i-1));
            end
            num_turns_m(i,k)=num_turns(i);
            %             if mup_turns==0;
            %                 warndlg({'La señal no cruza el umbral de turns.';'Se
            % ha introducido un umbral más grande que la amplitud de la señal.'},'!!!
            % Warning !!!')
            %                 i=length(umbrales);
            %             end
        end
    end
    plot( num_turns_m,'o-');grid on;
```

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- AUTOMATIC ANALYSIS OF THE EMG INTERFERENCE PATTERN. ELECTROENCEPHALOGR CLIN NEUROPHYSIOL Stalberg E, Chu J, Brill V, Nandedkar S, Stalberg S, Erickson M. 1983;56:672-81.
- ANALYSIS OF TURNS AND AMPLITUDES IN INTERFERENCE EMG. EN: ELECTROPHYSIOLOGIC SOFTWARE PROGRAM MANUALS, SWEDISH ELECTROPHYSIOLOGIC SOFTWARE. Stalberg S, Stalberg E, 1985;114(1):114-9.
- AUTOMATIC ANALYSIS OF THE ELECTROMYOGRAPHIC INTERFERENCE PATTERN. PART I: DEVELOPMENT OF QUANTITATIVE FEATURES. MUSCLE NERVE. PART II: FINDINGS IN CONTROL SUBJECTS AND IN SOME NEUROMUSCULAR DISEASES. MUSCLE NERVE. Nandedkar SD, Sanders DB, Stalberg EV. 1986;9:431-9. 1986;9:491-500.
- SIMULATION AND ANALYSIS OF THE ELECTROMYOGRAPHIC INTERFERENCE PATTERN IN NORMAL MUSCLE. PART I: TURNS AND AMPLITUDE MEASUREMENTS. PART II: ACTIVITY, UPPER CENTILE AMPLITUDE AND OF SMALL SEGMENTS. MUSCLE NERVE 1986;9:423-30. 1986;9:486-90.
- MEASUREMENT OF THE AMPLITUDE OF EMG ENVELOPE. MUSCLE NERVE Nandedkar SD, Sanders DB. 1990;13:933-8.
- ON THE SHAPE OF THE NORMAL TURNS-AMPLITUDE CLOUD. MUSCLE NERVE Nandedkar SD, Sanders DB, Stalberg EV. 1991;14(1):8-13.
- TURN/AMPLITUDE ANALYSIS: PROBLEMS IN THE CALCULATION OF THE NORMAL VALUES. EEG EMG. Z Elektroenzephalogr Elektromyogr Verwandte Geb Finsterer J, Mamoli B. 1991;22:137-46.
- TURN AND PHASE COUNTS OF INDIVIDUAL MOTOR UNIT POTENTIALS CORRELATION AND RELIABILITY. ELECTROENCEPHALOGR CLIN NEUROPHYSIOL PFEIFFER G, Kunze K. 1992;85:161-5.
- AUTOMATIC QUANTITATIVE ELECTROMYOGRAPHY. MUSCLE NERVE. Dorfman LJ, McGill KC. AAEE minimograph # 29: 1988;11:804-10.
- TURNS ANALYSIS (PEAK RATIO) IN EMG USING THE MEAN AMPLITUDE AS A SUBSTITUTE OF FORCE MEASUREMENT. ELECTROENCEPHALOGR CLIN NEUROPHYSIOL .Fuglsang-Frederiksen A, Lo Monaco M, Dahl K. 1985;60:225-7.
- TURNS-AMPLITUDE ANALYSIS OF THE ELECTROMYOGRAPHIC RECRUITMENT PATTERN DISREGARDING FORCE MEASUREMENT. PART I: METHOD AND REFERENCE VALUES IN HEALTHY SUBJECTS. MUSCLE NERVE. PART II. FINDINGS IN PATIENTS WITH NEUROMUSCULAR DISORDERS. MUSCLE NERVE 1992;15(12):1319-24. Ligouri R, Dahl K, Fuglsang-Frederiksen A. 1992;15(12):1314-8.
- A QUANTITATIVE ELECTROMYOGRAPHIC INDEX THAT IS INDEPENDENT OF THE FORCE OF CONTRACTION. ELECTROENCEPHALOGR CLIN NEUROPHYSIOL Cenkovich F, Shih-Fong H, Gersten JW. 1982;38:683-94.
- QUANTITATIVE ELECTROMYOGRAPHY: COMPARISON BETWEEN MANUAL VALUES AND COMPUTER ONES ON NORMAL SUBJECTS. ELECTROMYOGR CLIN NEUROPHYSIOL. Hirose K, Uono M, Sobue I. 1974;14:315-20.



- TURNS ANALYSIS IN THE PHYSIOLOGICAL EVALUATION OF NEUROMUSCULAR DISORDERS. García HA, Milner-Brown HS, Fisher MA J Neurol Neurosurg Psychiatry 1980;43:1091-7.
- QUANTITATIVE ELECTROMYOGRAPHY IN BABIES AND YOUNG CHILDREN WITH PRIMARY MUSCLE DISEASE AND NEUROGENIC LESIONS. J Neurol Sci Smyth DPL. 1982;56:199-207.